

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

**PARÂMETROS AGROMETEOROLÓGICOS DE CULTURA DE  
PIMENTÃO (*Capsicum annuum* L.) EM AMBIENTES  
PROTEGIDO E CAMPO**

**ANTONIO RIBEIRO DA CUNHA**  
engenheiro agrônomo

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

BOTUCATU – SP  
Fevereiro - 2001

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

**PARÂMETROS AGROMETEOROLÓGICOS DE CULTURA DE  
PIMENTÃO (*Capsicum annuum* L.) EM AMBIENTES  
PROTEGIDO E CAMPO**

**ANTONIO RIBEIRO DA CUNHA**  
ENGENHEIRO AGRÔNOMO

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

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

BOTUCATU – SP  
Fevereiro - 2001

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E  
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO  
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - FCA  
UNESP - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C967p Cunha, Antonio Ribeiro da  
Parâmetros agrometeorológicos de cultura de pimentão  
(*Capsicum annuum* L.) em ambientes protegido e campo /  
Antonio Ribeiro da Cunha. - Botucatu, 2001  
x, 128f. : il. color. ; 28 cm.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2001  
Orientador: João Francisco Escobedo  
Bibliografia: f. 101-118

1. Pimentão - Cultura 2. Pimentão - Ambiente prote-  
gido 3. Meteorologia agrícola I. Título

Palavras-chave: *Capsicum annuum*; Pimentão; Ambiente protegido;  
Parâmetros agrometeorológicos

*« Há pessoas que passam por este mundo e  
delas pouco se fica conhecendo,  
vivem sua vida, mas não deixam rastros;  
outras, queiram ou não, conscientes ou inconscientes  
vão deixando as marcas que as identificam,  
os traços que perpetuam o seu nome  
e as tornam inconfundíveis. »*

## OFEREÇO

À minha esposa “*Tinha*”,  
pelo amor e compreensão neste período de dificuldades;  
e às minhas filhas: “*Taís* e *Letícia*”,  
que pela simplicidade e amor, me faz, nos momentos mais difíceis,  
dar gargalhadas de felicidade.

## DEDICO

Aos “*meus pais*”,  
que me deram a chance de desfrutar os bons e maus momentos dessa vida;  
e aos “*meus irmãos*”,  
que contribuíram na minha formação para poder chegar até aqui.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e por iluminar os meus caminhos nesta grande jornada, que é a vida;

Ao Prof. Dr. João Francisco Escobedo pela orientação, apoio, dedicação, compreensão e amizade ao longo do curso de pós-graduação;

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agronômicas – Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciências Ambientais, pelo afastamento concedido para a realização do curso de pós-graduação;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio de infra-estrutura (ambiente protegido) e instrumental (instrumentos meteorológicos) para a realização desta pesquisa;

Ao Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciência do Solo, pela análise química do solo, recomendações de adubação e classificação do solo;

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

Aos docentes e funcionários do Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciências Ambientais, pelo apoio, compreensão e colaborações prestadas ao longo deste trabalho;

Aos colegas de pós-graduação Alexandre Dal Pai, Daniela Soares Alves Caldeira, Eduardo Nardini Gomes, Emerson Galvani, Hildeu Ferreira de Assunção, Leuda da Silva Oliveira, Marcelo Augusto de Aguiar e Silva, Modesto Antonio Chaves, Jorge Washington da Silva e Valéria de Almeida Frisina, pela amizade e permuta de conhecimentos;

Em especial ao amigo de pós-graduação Elcio Silvério Klosowski, pela colaboração na labuta diária na área experimental, dividindo junto as dificuldades e as conquistas;

E aos membros da banca examinadora, os quais analisaram e avaliaram de forma notória o presente trabalho.

## SUMÁRIO

|                                                                     | Página |
|---------------------------------------------------------------------|--------|
| LISTA DE QUADROS.....                                               | viii   |
| LISTA DE FIGURAS.....                                               | x      |
| RESUMO.....                                                         | 1      |
| SUMMARY.....                                                        | 3      |
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                  | 5      |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA.....                                       | 8      |
| 2.1 Ambiente protegido.....                                         | 8      |
| 2.1.1 Material de cobertura.....                                    | 10     |
| 2.2 Cultura de pimentão.....                                        | 12     |
| 2.2.1 Cultura de pimentão em ambiente protegido.....                | 14     |
| 2.3 Evapotranspiração em ambiente protegido.....                    | 16     |
| 2.4 Temperatura e umidade relativa do ar em ambiente protegido..... | 18     |
| 2.5 Componentes da radiação solar em ambiente protegido.....        | 20     |
| 2.6 Coeficiente de reflexão.....                                    | 26     |
| 2.7 Balanço de energia.....                                         | 28     |
| 2.7.1 Componentes do balanço de energia.....                        | 30     |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS.....                                          | 33     |
| 3.1 Localização da área experimental.....                           | 33     |
| 3.2 Caracterização do clima.....                                    | 33     |
| 3.3 Características químicas, físicas e classificação do solo.....  | 34     |
| 3.4 Curva de retenção de água do solo.....                          | 34     |
| 3.5 Área experimental.....                                          | 35     |
| 3.6 Híbrido.....                                                    | 37     |
| 3.7 Irrigação.....                                                  | 37     |
| 3.8 Condução do experimento.....                                    | 38     |
| 3.8.1 Preparo do solo.....                                          | 38     |
| 3.8.2 Preparo e transplântio das mudas.....                         | 38     |
| 3.8.3 Adubação de cobertura.....                                    | 39     |

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.8.4 Controle de plantas daninhas.....                                                        | 40 |
| 3.8.5 Controle de pragas e doenças.....                                                        | 40 |
| 3.8.6 Condução e tutoramento das plantas.....                                                  | 41 |
| 3.8.7 Colheita.....                                                                            | 42 |
| 3.9 Características de crescimento da cultura de pimentão.....                                 | 42 |
| 3.10 Características de produção da cultura de pimentão.....                                   | 43 |
| 3.10.1 Classificação dos frutos (São Paulo, 1998).....                                         | 43 |
| 3.10.2 Peso médio dos frutos.....                                                              | 44 |
| 3.10.3 Produção por planta.....                                                                | 44 |
| 3.10.4 Produtividade.....                                                                      | 44 |
| 3.11 Parâmetros agrometeorológicos da cultura de pimentão.....                                 | 45 |
| 3.11.1 Componentes da radiação solar.....                                                      | 45 |
| 3.11.2 Coleta dos dados agrometeorológicos.....                                                | 48 |
| 3.11.3 Coeficiente de reflexão (r).....                                                        | 50 |
| 3.11.4 Transmissividade da cobertura (T).....                                                  | 51 |
| 3.11.5 Balanço de energia de uma superfície.....                                               | 51 |
| 3.11.6 Balanço de ondas curtas (BOC).....                                                      | 53 |
| 3.11.7 Balanço de ondas longas (BOL).....                                                      | 53 |
| 3.11.8 Temperatura e umidade relativa do ar.....                                               | 54 |
| 3.11.8.1 Termopares de cobre-contantán (Cu-Co).....                                            | 54 |
| 3.11.8.2 Sensor modelo HMP45C (Vaisala).....                                                   | 56 |
| 3.11.9 Temperatura do solo.....                                                                | 56 |
| 3.11.10 Velocidade do vento.....                                                               | 56 |
| 3.11.11 Correlações.....                                                                       | 57 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                                                                 | 58 |
| 4.1 Características de crescimento, produção e produtividade da cultura de pimentão.....       | 58 |
| 4.2 Relação entre saldo de radiação (Rn), crescimento e rendimento da cultura de pimentão..... | 63 |
| 4.3 Temperatura e umidade relativa do ar.....                                                  | 65 |
| 4.4 Temperatura do solo.....                                                                   | 67 |

|                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5 Velocidade do vento.....                                                                                                           | 69  |
| 4.6 Radiação solar global, refletida e difusa.....                                                                                     | 71  |
| 4.6.1 Radiação solar global ( $R_g$ ).....                                                                                             | 71  |
| 4.6.2 Radiação solar refletida ( $R_r$ ).....                                                                                          | 73  |
| 4.6.3 Radiação solar difusa ( $R_d$ ).....                                                                                             | 74  |
| 4.7 Balanço de radiação.....                                                                                                           | 77  |
| 4.7.1 Balanço de radiação de ondas curtas (BOC).....                                                                                   | 77  |
| 4.7.2 Balanço de radiação de ondas longas (BOL).....                                                                                   | 77  |
| 4.8 Saldo de radiação ( $R_n$ ) versus balanço de ondas curtas (BOC) e longas<br>(BOL).....                                            | 78  |
| 4.9 Transmissividade do polietileno de baixa densidade claro (T).....                                                                  | 82  |
| 4.10 Coeficiente de reflexão ( $r$ ).....                                                                                              | 85  |
| 4.11 Fluxo de calor no solo ( $G$ ).....                                                                                               | 86  |
| 4.12 Balanço de energia.....                                                                                                           | 88  |
| 4.12.1 Balanço de energia diário da cultura de pimentão.....                                                                           | 88  |
| 4.12.2 Balanço de energia ao longo do ciclo da cultura de pimentão.....                                                                | 90  |
| 4.13 Fluxo de calor latente equivalente em milímetros (ET) durante o ciclo da cul-<br>tura de pimentão.....                            | 92  |
| 4.14 Correlações.....                                                                                                                  | 94  |
| 4.14.1 Temperatura e umidade relativa do ar.....                                                                                       | 94  |
| 4.14.2 Velocidade do vento.....                                                                                                        | 95  |
| 4.14.3 Radiações solar global e refletida, e saldo de radiação.....                                                                    | 96  |
| 4.14.4 Balanço de energia.....                                                                                                         | 97  |
| 5. CONCLUSÕES.....                                                                                                                     | 99  |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                                                                     | 101 |
| APÊNDICE.....                                                                                                                          | 119 |
| 1. Programa para a leitura dos sensores agrometeorológicos utilizados na cultura de<br>pimentão nos cultivos protegido e de campo..... | 120 |

|                                                                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2. Programa para a integralização diária das componentes da radiação solar para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca) através do software Microcal Origin <sup>TM</sup> ..... | 124 |
| 3. Programa para estimativa e integralização diária das componentes do balanço de energia em cultivo protegido (pt) através do software Microcal Origin <sup>TM</sup> .....                    | 127 |

## LISTA DE QUADROS

| Quadros                                                                                                                                                                                                                                | Página |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1 - Análise química da área experimental feita pelo Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciências do Solo.....                                                                                                                    | 34     |
| 2 - Análise física da área experimental feita pelo Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciências Ambientais.....                                                                                                                  | 34     |
| 3 - Controle fitossanitário efetuado durante o ciclo da cultura de pimentão, de acordo com recomendações técnicas do produto químico, para os dois cultivos.....                                                                       | 40     |
| 4 - Limites de tolerância de defeitos graves e leves para cada categoria de qualidade de frutos de pimentão (São Paulo, 1998).....                                                                                                     | 44     |
| 5 - Sensores das componentes de radiação solar e fluxo de calor no solo e suas respectivas constantes de calibração.....                                                                                                               | 45     |
| 6 - Valores médios do número de frutos por planta, do peso dos frutos, do comprimento dos frutos, do diâmetro dos frutos, da espessura da polpa do fruto, da produção e da produtividade (média de 6 plantas – cultivo protegido)..... | 60     |
| 7 - Valores médios do número de frutos por planta, do peso dos frutos, do comprimento dos frutos, do diâmetro dos frutos, da espessura da polpa do fruto, da produção e da produtividade (média de 6 plantas – cultivo de campo).....  | 60     |
| 8 - Classificação dos frutos de pimentão híbrido Elisa por grupo, sub-grupo, classe, sub-classe e categoria (média de 6 plantas – cultivo protegido).....                                                                              | 61     |
| 9 - Classificação dos frutos de pimentão híbrido Elisa por grupo, sub-grupo, classe, sub-classe e categoria (média de 6 plantas - cultivo de campo).....                                                                               | 62     |
| 10 - Relação entre Rd e Rg nas condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca) nos dias 09/10/99 (céu limpo) e 17/10/99 (céu nublado). Rd foi corrigido pelo fator Melo (1993).....                                                | 74     |
| 11 - Valores de saldo de radiação diurno ( $R_n(d)$ ), noturno ( $R_n(n)$ ), total ( $R_n(t)$ ) e a relação $R_n(n)/R_n(d)$ , em condições de cultivo protegido e de campo, para o dia 09/10/99 (céu limpo).....                       | 80     |

|                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 12 - Valores de saldo de radiação diurno ( $R_n(d)$ ), noturno ( $R_n(n)$ ), total ( $R_n(t)$ ) e a relação $R_n(n)/R_n(d)$ , em condições de cultivo protegido e de campo, para o dia 17/10/99 (céu nublado)..... | 80 |
| 13 - Partição diária do balanço de energia em condições de cultivo protegido e de campo na data de 26/09/99 (céu limpo), para a cultura de pimentão.....                                                           | 88 |
| 14 - Partição do balanço de energia em condições de cultivo protegido e de campo durante o ciclo da cultura de pimentão.....                                                                                       | 90 |
| 15 - Fluxo de calor latente equivalente em milímetros (ET), produtividade e eficiência do uso da água (e.u.a.) ao longo do ciclo da cultura de pimentão.....                                                       | 93 |

## LISTA DE FIGURAS

| Figuras                                                                                                                                                                          | Página |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1 - Curva de retenção de água do solo na camada de 0 a 30cm em ambiente protegido...                                                                                             | 35     |
| 2 - Fotografia ilustrando a área experimental no cultivo protegido (Foto: Cunha, A.R., em 24/09/99).....                                                                         | 36     |
| 3 - Fotografia ilustrando a área experimental no cultivo de campo (Foto: Cunha, A.R., em 24/09/99).....                                                                          | 36     |
| 4 - Balanço hídrico mensal do ano de 1999 (a) e a deficiência, o excedente, a retirada e a reposição hídrica ao longo do ano de 1999 (b).....                                    | 38     |
| 5 - Fotografia ilustrando o sistema de tutoramento no cultivo protegido – cultivo em “V” (Foto: Cunha, A.R., em 01/10/99).....                                                   | 41     |
| 6 - Esquema representativo do balanço de radiação de ondas curtas (OC) e longas (OL).                                                                                            | 47     |
| 7 - Esquema representativo do sistema de coleta e tratamento preliminar dos dados da cultura de pimentão.....                                                                    | 48     |
| 8 - Arquivo ASCII contendo dados oriundos de um Micrologger 21X.....                                                                                                             | 50     |
| 9 - Conjunto de microabrigos psicrométricos instalados na área experimental (Foto: Cunha, A.R., em 22/04/99).....                                                                | 54     |
| 10 - Matéria seca total (MST) e índice de área foliar (IAF) durante o ciclo da cultura de pimentão, para as condições de cultivo protegido (a-pt) e de campo (b-ca).....         | 58     |
| 11 - Altura de plantas (ALT) e número de folhas por planta (NºF/Pl) durante o ciclo da cultura de pimentão, para as condições de cultivo protegido (a-pt) e de campo (b-ca)..... | 59     |
| 12 - Altura de plantas (ALT) de pimentão versus o saldo de radiação (Rn) sob condições de cultivo protegido (a-pt) e de campo (b-ca).....                                        | 64     |
| 13 - Matéria seca total (MST) de plantas de pimentão versus o saldo de radiação (Rn) sob condições de cultivo protegido (a-pt) e de campo (b-ca).....                            | 64     |
| 14 - Índice de área foliar (IAF) versus o saldo de radiação (Rn) sob condições de cultivo protegido (a-pt) e de campo (b-ca).....                                                | 64     |

|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 15 - Valores mínimos diários da temperatura (a) e umidade relativa do ar (b) do sensor HMP45C ao longo do ciclo da cultura, para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca)..... | 65 |
| 16 - Valores máximos diários da temperatura (a) e umidade relativa do ar (b) do sensor HMP45C, para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).....                              | 66 |
| 17 - Valores médios diários da temperatura (a) e umidade relativa do ar (b) do sensor HMP45C, para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).....                               | 66 |
| 18 - Variação das temperaturas médias diárias do solo ao longo do ciclo da cultura de pimentão para os cultivos protegido (pt) e de campo (ca).....                                          | 68 |
| 19 - Variação das temperaturas do solo (a) nos cultivos protegido (pt) e de campo (ca), e da velocidade do vento (b) em cultivo de campo, ao longo do dia 09/10/99.....                      | 69 |
| 20 - Variação da velocidade média do vento ( $V_{to}$ ) ao longo do ciclo da cultura de pimentão para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).....                            | 70 |
| 21 – Fotografia ilustrando o efeito do vento nas plantas de pimentão no cultivo de campo (Foto: Cunha, A.,R., em 05/07/99).....                                                              | 70 |
| 22 - Curvas de $R_g$ para o dia 09/10/99 (a-céu limpo) e para o dia 17/10/99 (b-céu nublado), nas condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).....                                   | 71 |
| 23 - Variação de $R_g$ ao longo do ciclo da cultura de pimentão para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).....                                                             | 72 |
| 24 - Variação de $R_r$ ao longo do ciclo da cultura de pimentão para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).....                                                             | 73 |
| 25 - Curvas de $R_d$ para o dia 09/10/99 (a-céu limpo) e para o dia 17/10/99 (b-céu encoberto), nas condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).....                                 | 75 |
| 26 - Variação de $R_d$ ao longo do ciclo da cultura de pimentão para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).....                                                             | 76 |
| 27 - Variação do BOC ao longo do ciclo da cultura de pimentão, para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).....                                                              | 77 |
| 28 - Variação do BOL ao longo do ciclo da cultura de pimentão, para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).....                                                              | 78 |

|                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 29 - Curvas do BOC, do BOL e do Rn para o dia 09/10/1999 (céu limpo), em condições de cultivo protegido (a-pt) e de campo (b-ca), em fase de pleno desenvolvimento reprodutivo (produção plena) da cultura de pimentão.....   | 79 |
| 30 - Curvas do BOC, do BOL e de Rn para o dia 17/10/1999 (céu nublado), em condições de cultivo protegido (a-pt) e de campo (b-ca), em fase de pleno desenvolvimento reprodutivo (produção plena) da cultura de pimentão..... | 81 |
| 31 - Variação do Rn ao longo do ciclo da cultura de pimentão para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).....                                                                                                 | 82 |
| 32 - Curvas de transmissividade instantânea para os dias 09/10/99 (a-céu limpo) e 17/10/99 (b-céu nublado) e ao longo do ciclo da cultura de pimentão (c).....                                                                | 83 |
| 33 - Variação do coeficiente de reflexão (r) do dossel da cultura de pimentão ao longo do ciclo, para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).....                                                             | 85 |
| 34 - Curvas do fluxo de calor no solo (G) para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca), nas datas de 09/10/99 (a - céu limpo) e de 17/10/99 (b - céu nublado).....                                             | 86 |
| 35 - Variação do G em condições de cultivo protegido (pt) e em cultivo de campo (ca), ao longo do ciclo da cultura do pimentão.....                                                                                           | 87 |
| 36 - Curvas do Rn, do G, do LE e do H para as condições de cultivo protegido (a) e de campo (b), respectivamente, para o dia 26/09/99 (céu limpo).....                                                                        | 90 |
| 37 - Variação do Rn, do G, do LE e do H para as condições de cultivo protegido (a) e em cultivo de campo (b), respectivamente, durante o ciclo da cultura do pimentão..                                                       | 91 |
| 38 - Correlação entre os valores de temperatura do ar obtidos a partir do conjunto psicrométrico e do sensor HMP45C, para as condições de cultivo protegido (a) e de campo (b).....                                           | 94 |
| 39 - Correlação entre os valores de umidade relativa do ar obtidos a partir do conjunto psicrométrico e do sensor HMP45C, para as condições de cultivo protegido (a) e de campo (b).....                                      | 95 |
| 40 - Correlação entre os valores de velocidade do vento do cultivo protegido (pt) e a velocidade do vento em cultivo de campo (ca).....                                                                                       | 96 |

|                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 41 - Correlação entre $R_{gpt}$ e $R_{gca}$ (a), $R_{rpt}$ e $R_{gca}$ (b), e $R_{npt}$ e $R_{gca}$ (c), para os cultivos protegido e de campo.....        | 97 |
| 42 - Correlação entre a energia disponível ( $R_n-G$ ) e os fluxos de calor latente e sensível ( $LE+H$ ) para o cultivo protegido (a) e de campo (b)..... | 98 |

## RESUMO

Este trabalho foi conduzido no Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Campus de Botucatu, SP, Brasil, no qual avaliou-se a temperatura e umidade relativa do ar, a temperatura do solo, a velocidade do vento, as radiações solar global, refletida e difusa, o balanço de radiação, o balanço de energia, a transmissividade da cobertura à radiação solar global, o coeficiente de reflexão e o fluxo de calor latente equivalente em milímetros da cultura de pimentão híbrido Elisa, em condições de cultivo protegido e de campo, relacionando com o crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura.

O cultivo protegido utilizado foi do tipo arco não-climatizado e orientado no sentido NNW-SSE com uma área de 280m<sup>2</sup>, com cobertura de polietileno de baixa densidade claro de 120µm e laterais de sombrite 50%; e o cultivo de campo com uma mesma área, mesmo sentido e distante 15 metros do cultivo protegido. O período de condução do experimento foi de 21/04/99 a 30/11/99, e a coleta dos elementos agrometeorológicos foi feita por um sistema automatizado, a cada 5 segundos e com saída de médias a cada 5 minutos.

A cultura de pimentão apresentou um conforto térmico maior no cultivo protegido com relação a temperatura do solo e velocidade do vento, e um desconforto com relação aos valores máximos diários de temperatura do ar e aos valores mínimos diários

de umidade relativa do ar; e mesmo apresentando valores das radiações solar global e refletida inferiores e ligeiramente superiores para a radiação solar difusa, foi mais eficiente na fotossíntese.

Em ambos os cultivos, o fluxo de calor latente de vaporização superou a demanda do fluxo de calor sensível. O cultivo protegido apresentou os menores fluxos de calor latente de vaporização para a atmosfera e de calor do solo para o sistema em função de uma menor disponibilidade energética (saldo de radiação), e com um maior fluxo de calor sensível para o sistema, resultando numa menor transferência de energia da cultura para a atmosfera e num maior aquecimento da cultura; e apresentou um menor fluxo de calor latente de vaporização equivalente em milímetros, demonstrando maior eficiência do uso da água.

Apesar do cultivo protegido ter tido menos energia líquida disponível para o crescimento e desenvolvimento da cultura, apresentou um acréscimo maior na altura, na matéria seca total, no índice de área foliar e na produtividade dos frutos com uma qualidade superior, mostrando-se mais eficiente na conversão desta energia em MJ por kg de fruto produzido em  $1\text{m}^2$ ; sendo que essas diferenças de crescimento e desenvolvimento da cultura foram pequenas, comprovado pela semelhança nos valores encontrados dos coeficientes de reflexão.

Mesmo o cultivo protegido apresentando uma maior eficiência do uso da água e da energia líquida disponível, a cultura de pimentão no cultivo protegido não teve um desenvolvimento e uma produtividade esperada, devido a ocorrência de valores mínimos e médios diários de temperatura e umidade relativa do ar inferiores quando comparado aos valores normais da Estação Meteorológica Convencional em condições de campo; e associado aos ventos fortes e constantes, caracterizou um menor desenvolvimento vegetativo e formação de flores reduzida com o comprometimento da produtividade esperada.

AGROMETEOROLOGICAL PARAMETERS OF RED PEPPER CROP (*Capsicum annuum* L.) IN PROTECTED ENVIRONMENT AND FIELD. Botucatu, 2001. 128p. These (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.  
Author: ANTONIO RIBEIRO DA CUNHA  
Adviser: JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO

## SUMMARY

This work was carried out in Department of Natural Resources - Section of Environmental Sciences, FCA/UNESP, Botucatu Campus, São Paulo State, Brazil. Where the air temperature and relative humidity, the soil temperature, the wind speed, the reflected, diffuse and global solar radiations, the radiation balance, the energy balance, the coverage transmission coefficient to global solar radiation, the reflection coefficient and the latent heat flux in equivalent millimeters, were evaluated for red pepper culture, Elisa híbrido, in protected environment and in field cultivation. The acquired data were correlated with growth, development and productivity of the culture in period from 21/04/99 to 03/11/99. For the cultivation in protected environment have been used a greenhouse of 280 m<sup>2</sup> covered with film of polyethylene of 120 µm and polypropylene screen with 50% of shadowband, oriented in direction NNW-SSE. The rehearsal at open sky was cultivated parallel to the protected environment distanced in 15 meters, with same area and orientation. The agrometeorological elements were sampled in the frequency of 5 hertz and averaged after 5 minutes by automated system. The protected environment provided larger thermal comfort and photosynthetic efficiency to the red pepper culture, in relation to soil temperature, wind speed and diffuse solar radiation. In an opposite observation, the climatically modified environment induced discomfort thermal, in relation to maximum temperatures and minimum relative humidities daily. In general terms the sensitive heat flux overcame the demand of latent heat flux. In protected environment the smallest energy transfer rate from culture to atmosphere and the

largest heating of culture were attributed to the low energy availability (net radiation) and sensitive heat flux increase, evidencing a larger water use efficiency in relation to field cultivation. In protected environment cultivation the plants presented superiority in height, production of total dry matter, leaf area index, productivity and quality of fruits, in spite of low offer of liquid energy to growth and development of red peppers. This demonstrate the energy conversion efficiency in this system. In spite of larger efficiencies in water use and spare liquid energy, the performance and productivity of red pepper in protected environment were not satisfactory, due to temperature, relative humidity and wind speed occurrences out of tolerable levels for the plants.

---

Keywords: agrometeorological parameters, *Capsicum annuum*, pepper crop, protected environment.

## 1. INTRODUÇÃO

Embora a eficiência das plantas na conversão e armazenamento da energia solar na forma de ligações químicas existentes nos carboidratos, seja em torno de 1% em relação ao estimado teoricamente (5-6%), o fato é que de 90 a 95% de toda a massa vegetal proveniente do processo fotossintético vem consolidar a definição dada por Monteith (1958), de que a agricultura pode ser considerada como uma forma de exploração da energia solar, sendo isso possível mediante um adequado fornecimento de água e nutrientes, necessários à manutenção e desenvolvimento da planta (Prates et al., 1986).

Em países situados ao sul da Europa, entre as latitudes 35° e 45° N, como Espanha, França, Itália e Portugal, a radiação solar incidente no interior do ambiente protegido é da ordem de 60 a 80% da radiação exterior, variando de acordo com a época do ano, a orientação e geometria da cobertura desse ambiente, e local (Prados, 1989), sendo que para as condições brasileiras, ainda há carência com relação a essas informações. No Brasil, o interesse de estudos em ambientes protegidos tem aumentado muito nos últimos anos, nas diversas regiões do país, principalmente com os de cobertura plástica, tanto para fins de pesquisa quanto para fins comerciais; objetivando conhecer as diferentes estruturas utilizadas, as principais pragas e doenças que ocorrem nesse ambiente, e também as alterações ocorridas com relação aos elementos meteorológicos, os quais influenciam diretamente a cultura ali

instalada, pois esse tipo de ambiente exige práticas de manejo diferentes daquelas em condição de campo.

O ambiente protegido tem como finalidade principal a proteção contra as adversidades climáticas, e em consequência, obtém-se precocidade nas colheitas, aumento na produtividade e frutos de melhor qualidade, com a opção de explorar as culturas durante todo o ano (Salveti, 1983; Pedro & Vicente, 1988; Cermeño, 1990). Através da utilização desse ambiente de maneira eficiente e econômica, é possível conseguir colheitas as quais excedem sensivelmente às que se obtém em condições de campo, sendo a produção obtida, de duas a três vezes maior que em condição de campo (Oliveira et al., 1992; Oliveira 1995).

O ambiente protegido com cobertura plástica utilizado no cultivo de culturas de interesse econômico, altera o balanço de energia do sistema, pois segundo Critten (1993) esses ambientes ainda são poucos estudados, sendo importante estudos de balanço de energia nesses ambientes, tendo em vista a escassez de trabalhos nessa área no Brasil, demonstrando a importância do estudo de componentes da radiação solar nessas condições.

Normalmente, os plásticos utilizados no ambiente protegido, é o polietileno de baixa densidade (PEBD) claro com tratamento anti-ultra violeta (UV), sendo que a radiação solar global no ambiente protegido é de 60 a 80% da observada em condição de campo. Com o passar do tempo, a deposição na superfície externa da cobertura do ambiente protegido, de partículas sólidas que se encontram suspensas no ar, reduzem a passagem de radiação solar para o interior deste ambiente (Araujo & Castellane, 1991), afetando assim o crescimento e o desenvolvimento fisiológico da planta, podendo ainda causar alterações na resistência à patógenos. O efeito da radiação solar na proteção das plantas, através das fototoxinas, no controle de certos patógenos-hospedeiros em culturas, tem apresentado interesse recente através dos trabalhos de Pascholati (1995) e Pascholati & Leite (1994), além também do efeito da mesma no ciclo de reprodução dos patógenos.

Embora de emprego recente no Brasil, o cultivo de hortaliças em ambiente protegido caracteriza-se pelo uso intensivo de insumos agrícolas e de mão-de-obra, estando inserido num mercado bastante dinâmico, com adequadas variações estacionais de oferta e preço para a maioria dos produtos, obrigando o olericultor a um rigoroso planejamento da produção e a utilização de tecnologia sempre atualizada, a fim de reduzir os

riscos de produção (Horino et al., 1987; Lima, 1988; Reis et al., 1991b; Reis et al., 1992). Portanto, este tipo de manejo exige constante atualização por parte do agricultor com relação às técnicas de cultivo em questão, como por exemplo, a uniformidade genética das culturas utilizadas nesses ambientes, que favorece o aparecimento de pragas e doenças específicas com reprodução acelerada, isto devido a ausência de inimigos naturais controladores (Van den Bos, 1983; Oliveira, 1995).

Com relação às culturas exploradas em ambientes protegidos com coberturas plásticas, tem-se restringido a algumas poucas espécies de vegetais, entre elas: plantas ornamentais, pimentão, tomate, pepino, alface, abobrinha, melão, entre outras. Segundo Melo (1997) o pimentão é a olerícola mais cultivada nessas condições, pois tem sido a cultura que tem se adaptado melhor ao ambiente protegido no Estado de São Paulo.

Os objetivos do mercado agrícola nestes novos tempos, não são apenas de produzir com maior produtividade e menor custo, mas também e principalmente de reduzir e cumprir prazos, manter alto padrão de qualidade e confiabilidade, e aumentar a flexibilidade de produção, com custos compatíveis aos preços dos produtos diferenciados, ou seja, com qualidade dos produtos. Os produtores tradicionais, que continuam a produzir para o atacadista na época da safra, geralmente em condições de campo, perdem cada vez mais espaço para os novos produtores, que têm acompanhado as mudanças de mercado e têm organizado suas produções com novas tecnologias que possibilitam minimizar os efeitos negativos das adversidades climáticas, como o excesso de radiação solar e ventos frios, precipitações excessivas, temperaturas baixas, entre outros (Pinheiro, 1997).

Com isso, este trabalho teve por objetivo avaliar a temperatura e a umidade relativa do ar, a temperatura do solo, a velocidade do vento, as radiações solar global, refletida e difusa, o balanço de radiação, o balanço de energia, a transmissividade da cobertura à radiação solar global, o coeficiente de reflexão e o fluxo de calor latente equivalente em milímetros da cultura de pimentão híbrido Elisa em condições de cultivo protegido e de campo, relacionando com o crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Ambiente protegido**

Cermeño (1990) define estufa como sendo uma estrutura coberta por um material transparente que permite a passagem da luz solar para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Além das duas partes principais de uma estufa, a estrutura e o material usado em sua cobertura e cortinamento, são também integrantes os acessórios, tais como: teto zenital, lanternins, exautores, ventiladores, sistemas de irrigação e fertirrigação, sistemas de injeção de CO<sub>2</sub>, refrigeradores e aquecedores. Destacam-se na cobertura materiais como o vidro e os de base sintéticos plásticos. As estufas são classificadas em 3 tipos: a) climatizadas, b) semiclimatizadas e as c) não-climatizadas.

a) estufas climatizadas: onde se exerce o controle total e preciso sobre as variáveis micrometeorológicas de temperatura, umidade, luz (quantidade e qualidade), fotoperíodo, e taxa de CO<sub>2</sub>;

b) estufas semi-climatizadas: caracterizada pelo controle das variáveis micrometeorológicas em faixas, não dispondo de aparelhagem adequada para o controle preciso das variáveis, com controle parcial de temperatura e umidade relativa;

c) estufas não-climatizadas: caracterizada pela ausência total de aparelhagem acessória de controle de variáveis micrometeorológicas.

Neste trabalho, utilizou-se a denominação de ambiente protegido em se tratando genericamente, sem especificar cultura instalada no seu interior, e quando com cultura instalada, cultivo protegido, sendo classificado segundo Cermeño (1990) como estufa não-climatizada, pois neste estudo utilizou-se de um ambiente protegido sem controle algum. Apesar de não se efetuar controle algum, a ventilação natural é um processo importante em ambientes protegidos e tem sido estudada por muitos pesquisadores através das 2 décadas passadas (Teitel & Tanny, 1999). A ventilação natural pode ser usada como um ótimo controlador da temperatura, umidade e concentração de gases, como o  $\text{CO}_2$ , em ambiente protegido, com o intuito de renovação do ar neste tipo de ambiente. Resultados experimentais mostram que velocidade do vento superior a  $2 \text{ m.s}^{-1}$ , no processo de ventilação, pode ser prejudicial (Kittas et al., 1996; Papadakis et al., 1996). Em caso contrário, de vento fraco ( $v < 0,5 \text{ m.s}^{-1}$ ), a renovação do ar dada pela ventilação é muito importante (Mistriotis et al, 1997).

O interesse de estudos em ambientes protegidos tem aumentado nos últimos anos, principalmente com os de cobertura de plástico, nas diversas regiões do País, tanto para fins de pesquisa quanto para fins comerciais, objetivando conhecer as diferentes estruturas utilizadas, as principais pragas e doenças que ocorrem nesse ambiente e as alterações ocorridas com relação aos elementos meteorológicos. Existem algumas vantagens na utilização desse ambiente, tais como, proteção quanto aos fenômenos climáticos: geadas, granizo, excesso de chuvas, sol muito forte de dia e queda acentuada da temperatura durante à noite, proteção do solo contra lixiviação, redução de custos com fertilizantes e defensivos, um melhor controle de pragas e doenças, e principalmente a obtenção de maior produtividade e melhor qualidade de frutos, permitindo maior regularização da oferta de produtos agrícolas (Schneider et al., 1993; Oliveira, 1995).

Este tipo de cultivo tem crescido no mundo todo de acordo com Martalerz (1977), sendo esse crescimento devido as exigências de melhor qualidade do produto, inclusive no Brasil, e sobretudo nas regiões Sudeste e Sul. Culturas como o feijão-vagem, alface, abobrinha, beringela, pimentão, tomate e morango apresentaram um grande impulso no desenvolvimento da plasticultura nacional a partir dos anos 80 (Plasticultura, 1993).

Diversos autores mostraram aumento na produção agrícola em função das modificações microclimáticas causadas pelo uso do ambiente protegido, como Tapia (1981), Mougou et al. (1989), Mills et al. (1990), Andriollo et al. (1991), Reis et al. (1991b), Peñuelas et al. (1992), Buriol et al. (1993), Farias et al. (1993a), Farias et al. (1993b), Heldwein et al. (1995) e Scatoloni (1996). Entretanto, a pesquisa utilizando-se de ambientes protegidos é muito incipiente no Brasil, e devido à falta de conhecimento da tecnologia apropriada para esse tipo de cultivo, há a ocorrência freqüente de salinização do solo, prejudicando o cultivo de hortaliças nessas condições, o que está associado ao manejo inadequado da irrigação e fertilização.

### **2.1.1 Material de cobertura**

Atualmente, nota-se grande evolução na produção de filmes plásticos para a cobertura de ambiente protegido na agricultura. A cada ano são introduzidos novos tipos de materiais de cobertura no cultivo protegido, aumentando assim as dúvidas com relação a que tipo de material mais adequado a ser utilizado num determinado cultivo. A escolha do material de cobertura pode alterar a quantidade de luz transmitida no interior do ambiente protegido, beneficiando ou não a cultura ali instalada, em função de suas exigências; pois as condições ambientais internas de um ambiente protegido não dependem, somente de sua arquitetura, mas também da sua orientação e latitude do local (Kozai, 1977; Kozai & Kimura, 1977; Cermeño, 1990; Cermeño, 1994) e das propriedades do material de cobertura (Duncan & Walker, 1975; Godbey et al., 1979; Nijskens et al., 1985; Burek et al., 1989; Giacomelli & Roberts, 1993; Bliska Junior & Honório, 1994).

Os materiais usados para a cobertura em ambientes protegidos são geralmente caracterizados pelo nível de transparência na faixa do visível, para garantir a eficiência fotossintética da planta, e na faixa do infravermelho para caracterizar o efeito estufa e limitar perdas noturnas (Feuilloley et al., 1990); sendo que esses materiais, usados atualmente em vários países da Europa, são classificados e analisados em função do seu uso. O desenvolvimento de novos materiais plásticos com características específicas importantes, com relação à estrutura e conduta funcional do ambiente protegido, tem tido um aumento significativo, especialmente o filme de PEBD, no sul da Europa (Briassoulis et al., 1997).

Segundo Matallana & Montero (1995), a escolha ou não da utilização de um material de cobertura para o cultivo em ambiente protegido, define-se sobre alguns aspectos básicos, a resposta agrônômica (precocidade, produção e qualidade), propriedades óticas, térmicas e mecânicas do material, a estrutura a ser coberta (ambiente protegido e túneis), e principalmente o custo desse material de cobertura; sendo portanto, o PEBD aditivado com UV, o mais usado mundialmente e principalmente no Brasil, no meio agrícola, pois apresenta ótimas propriedades físicas, elevada transmissividade à radiação solar, com valores médios entre 70 e 90%, e pela fácil disponibilidade com baixo custo, porém apresenta alta transparência à radiação de onda longa, em torno de 80%, resultando numa queda acentuada da temperatura do ar noturna (Tapia, 1981; Pedro, 1987), causando um efeito contrário ao desejado, ou seja, valores de temperatura no interior do ambiente protegido inferiores aos verificados a céu aberto, fenômeno conhecido como “inversão térmica” (Baille & Brun, 1983; Herter & Reisser Junior, 1987). Devido às suas características óticas, o PEBD atua como um meio dispersante da radiação, podendo aumentar a fração da radiação difusa no interior do ambiente protegido (Prados, 1986), podendo chegar a valores superiores a 60% no ambiente protegido, em condições de céu limpo com 20% da radiação ao ar livre correspondendo à fração difusa (Martinez Garcia, 1978).

Em função do tipo de material de cobertura, a quantidade de radiação de ondas curtas é atenuada de forma diferenciada, pois segundo Frisina (1998), cultivando alface em ambiente protegido coberto com PEBD de 100 $\mu$ m, concluiu que no seu interior as irradiâncias global e refletida tiveram seus valores reduzidos. Reis & Carrijo (1999), estudando o comportamento da idade do plástico de PEBD aditivado contra UV de 100 a 150 $\mu$ m com relação à transmitância da quantidade de radiação global, determinaram uma transmitância de 87% da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), apresentando uma durabilidade de 2 a 3 anos, concluindo que em termos de quantidade de radiação necessária para a produção de tomate, pepino, alface e pimentão, é perfeitamente viável, necessitando de pesquisas com relação à qualidade de luz relacionada com a produção e qualidade de frutos.

A influência da poeira e outras partículas (materiais) no material de cobertura do ambiente protegido, diminuindo a transmissividade da radiação solar, segundo relatos, varia de cerca de 2% a 40%, dependendo da duração da medida, nível de poluição,

época e local. Isto, sendo especificado o local e dependendo da época, requer um estudo detalhado especialmente em locais onde a aplicação da energia solar é mais favorável, nos desertos e trópicos (Mastekbayeva & Kumar, 2000).

A condensação do vapor d'água, na forma de gotas, na cobertura de polietileno aumenta a transmissividade de luz em relação à cobertura seca, sendo que as gotas irão ter efeito de dispersão, dependendo do ângulo de incidência dos raios solares (Gijzen, 1995), causando um efeito benéfico na produção em ambientes protegidos, embora esse efeito tem recebido pouca atenção na literatura (Pieters et al., 1997).

## 2.2 Cultura de pimentão

A área cultivada com hortaliças no Estado de São Paulo no ano agrícola de 1995/96, representou cerca de 0,9% da área ocupada com atividades agrícolas, o que corresponde a 175.150 ha plantados com hortaliças (Camargo & Camargo Filho, 1998), apresentando 2.472 produtores de pimentão explorando uma área média de 2,64 ha, num total de 6.537 ha.

O cultivo de hortaliças, caracterizado pelo uso intensivo de insumos e de mão-de-obra, está inserido num mercado bastante dinâmico, com adequadas variações estacionais de oferta e preço para a maioria dos produtos, obrigando o olericultor a um rigoroso planejamento da produção e a utilização de tecnologia atualizada, a fim de reduzir os riscos de produção.

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) pertencente à família Solanaceae, é originário da zona central da América do Sul, apresenta sistema radicular superficial, com caule pubescente, que atinge de 0,40 a 1,00 m de altura em nossas condições. As folhas sendo uma por nó, são alternas com lâminas de formatos ovais ou elípticas; as flores são hermafroditas com autogamia; o fruto é uma baga carnosa e indeiscente. A constituição média, em 100 gramas de baga é: 92,3% de água, 0,9g de proteína, 0,3g de lipídeo, 1,0g de fibras, 0,7mg de ferro, 17,0mg de Ca, 28,0mg de P, 0,07mg de riboflavina, 0,5mg de niacina, 139,0mg de vitamina A, e 151,0mg de vitamina C (Siviero & Gallerani, 1992).

A cultura do pimentão é de cultivo anual, porém pode permanecer como planta semi-perene na ausência de patógenos, especialmente com relação as viroses (Filgueira, 1982), sendo que o seu crescimento nos primeiros 67 dias após o transplântio é

muito lento, intensificando-se no período de florescimento e acentuando-se mais ainda no período de frutificação (Haag et al., 1970).

O pimentão no Brasil é sensível à baixas temperaturas do ar e conseqüentemente intolerante às geadas, tendo muitas vezes sua safra prejudicada por alterações climáticas, acarretando a falta do produto no mercado e grandes oscilações de preços (Teodoro et al., 1993). A faixa ideal de temperatura é de 16°C para a mínima, e de 30°C para a máxima (Pádua et al., 1984; Siviero & Bernardoni, 1990; Pereira, 1990). Considerada uma planta tropical, se desenvolve melhor na faixa térmica de 20 a 30°C, e temperaturas constantemente menores que 15°C determinam um lento desenvolvimento vegetativo e formação de flores reduzida, enquanto temperaturas elevadas, acima de 32°C, provocam a queda das flores. No entanto, à medida que a planta cresce, torna-se mais resistente às baixas temperaturas, sendo favorecida pela termoperiodicidade, com altas temperaturas durante o dia e temperaturas mais amenas à noite (10 a 20°C) (Sonnenberg, 1981).

Filgueira (1982) relata que a germinação e formação de muda são os estádios mais sensíveis das plantas de pimentão com relação ao frio, variando conforme o estágio, sendo que na formação de mudas a temperatura ideal é de 26 a 30°C, aos 90 dias da semeadura (frutificação) é de 21°C, após 105 dias (plena produção) é de 19°C, e aos 150 dias, de 9°C. A sua produtividade é beneficiada pela termoperiodicidade, sendo mais adequadas temperaturas noturnas de 6 a 8°C inferiores às diurnas.

Camargo (1984) recomenda temperaturas do ar com médias entre 21,1 e 23,8°C, e com média das máximas até 26,5°C e das temperaturas mínimas até 18,3°C, para o bom desenvolvimento das plantas de pimentão. Pádua et al. (1984) recomendam temperaturas do solo em torno de 17°C para o desenvolvimento e crescimento das plantas, pois acima de 30°C a raiz da planta tem crescimento lento; e com relação à temperatura do ar, situa-se entre 26 e 30°C, sendo a temperatura de 27°C de melhor desenvolvimento. Na formação de flor, temperaturas noturnas entre 18 e 20°C favorecem a formação de frutos, enquanto baixas temperaturas noturnas, entre 8 e 10°C, após a antese, induzem à formação de frutos deformados. Podem ser obtidas produções precoce e total maiores à temperaturas noturnas de 15°C, enquanto que frutos maiores são obtidos sob temperaturas noturnas variando entre 15 e 17,5°C, no período de colheita. Em condições de umidade relativa alta, há um maior

crescimento da planta, e a combinação de baixa umidade relativa com alta temperatura, causa déficit hídrico na planta, ocorrendo morte de gemas e queda de flores, e a formação de frutos pequenos. Sganzerla (1995) e Cermeño (1990) relatam que o pimentão necessita na fase de desenvolvimento, de 20 a 25°C (ideal de 25°C) durante o dia e noturnas entre 16 e 18°C, e na fase de florescimento, entre 18 e 35°C (ideal de 25°C). A umidade relativa, entre 50 e 70%, para plantas com bom desenvolvimento.

No que se refere ao fotoperiodismo, comporta-se como planta de dia curto, ou seja, o florescimento se inicia mais cedo e é mais abundante em dias curtos que em dias longos (Sonnenberg, 1981). Segundo Pádua et al. (1984), embora dias curtos favoreçam o florescimento, o pimentão não é afetado pelo fotoperíodo. Com relação à intensidade de luz, é considerado planta de sombra, sendo pouco influenciado pelos tratamentos que visem aumentar a disponibilidade da luz. Já Sganzerla (1995) e Cermeño (1990) apontaram o pimentão como planta que necessita de boa luminosidade, especialmente durante o período de floração.

No Brasil, o Distrito Federal é um importante produtor e fornecedor de pimentão, alcançando em média 12.000 t/ano, das quais 6.500t são produzidas em ambientes protegidos e o restante a campo (Distrito Federal, 1999).

### **2.2.1 Cultura de pimentão em ambiente protegido**

O cultivo em ambientes protegidos com cobertura plástica, tem-se restringido a algumas poucas espécies de hortaliças, entre elas o pimentão. Segundo Camargo Filho & Mazzei (1994), em 1990, a cultura de pimentão atingiu 1,4% da produção nacional de hortaliças, ocupando uma área de 5.470 ha, sendo que a produção paulista representou 34,23% deste montante, com uma área de 1.813 ha. Segundo Junqueira (1999) a área com cultivo protegido no país é de aproximadamente 2.000 ha.

Entre as culturas com importância econômica cultivada em ambiente protegido, o pimentão é a olerícola mais cultivada, pois tem sido a cultura que tem se adaptado melhor ao ambiente protegido no Estado de São Paulo (Melo, 1997), sendo que é uma das olerícolas listadas menos tolerantes à salinidade (Ayers & Westcot, 1991). A cultura de pimentão desponta entre as demais, utilizando-se de sementes de híbridos, apresentando diferentes sistemas de tutoramento e com inúmeras possibilidades de espaçamento. A

condução da cultura varia desde 2 hastes por planta até 6 e, recentemente, com crescimento livre.

Elementos de clima, como temperatura e umidade relativa do ar, dificultam a produção do pimentão, e em algumas épocas do ano limitam o seu crescimento e desenvolvimento. Portanto, o cultivo em ambiente protegido vem-se tornando a solução desses impasses, tendo-se em algumas regiões um aumento considerável na área de produção, o que acaba resultando em novas dificuldades, tais como, a condução da cultura de acordo com a época do transplântio e o híbrido utilizado (Tivelli, 1999). Além dos elementos climáticos citados, Chee et al. (1988) relataram que o cultivo de pimentões em regiões chuvosas da Coreia, sob ambiente protegido com cobertura plástica, promoveu a redução de incidência de viroses, de 100% para 3%, e a podridão de frutos caiu de 12,2% para 3,2%.

Nuez Viñals et al. (1996) alertam que a procura da melhor densidade de plantas está associada a algumas características de exploração, como as variedades (vigorosas, de porte alto, que requerem menor densidade de transplântio que as de porte baixo), a comercialização, o sistema de irrigação, e a mecanização. No Brasil, a densidade utilizada no transplântio de pimentão em ambiente protegido é variável.

Com relação à altura das plantas de pimentão, Teodoro (1986) e Caixeta (1978) encontraram em média, alturas mais elevadas da cultura do pimentão no interior do ambiente protegido do que em condições de campo. Na avaliação de 10 híbridos de pimentão na Argentina, Panelo (1995) verificou que o híbrido Vidi, ao final de 2 meses de colheita, aproximadamente 143 dias após o transplântio, apresentou a menor altura de plantas, entre 50 e 70 cm, enquanto que o híbrido Elisa mostrou uma altura de plantas entre 80 e 90cm. As plantas maiores foram as dos híbridos Blue Star e Hércules AG-672, com 150 cm e com 100 a 160 cm de altura, respectivamente. Faria Junior (1997) avaliando a altura média de 2 híbridos de pimentão em Jaboticabal, SP, aos 196 dias após o transplântio, verificou que o híbrido Mônica atingiu 153,3 cm e o híbrido Magali 144,5 cm de altura, para ambiente protegido, apresentando-se maiores do que em condições de campo. Santos et al. (1999), conduzindo experimento em ambiente protegido e em condições de campo, com dois híbridos de pimentão, Elisa e Magali-R, concluíram que a altura das plantas de pimentão apresentaram-se superiores no ambiente protegido, independente dos híbridos.

A produção média em ambiente protegido chega a 40 t/ha, enquanto que ao ar livre alcança 20 t/ha, para cultivo associado (Pedro & Vicente (1988). Já segundo Cermeño (1990), de 80 a 150 t/ha, no cultivo protegido, e de 40 a 60 t/ha ao ar livre, em cultivo de verão. Enquanto Panelo (1995), analisando 10 híbridos de pimentão na Argentina, transplantados em agosto de 1994 em linhas duplas espaçadas de 0,60 x 0,40 m entre plantas, e com condução livre, obteve em 2 meses de colheita uma produção de 2,7 kg por planta do híbrido Elisa e de 2,2 kg por planta do híbrido Vidi, os quais foram considerados de alta e média-alta produtividade, respectivamente. Nos 2 meses de colheita, obtiveram-se 18,3 frutos por planta com o híbrido Elisa e 14,6 frutos por planta com o híbrido Vidi, com peso médio de fruto de 150 e 152 gramas, para os híbridos Elisa e Vidi, respectivamente. Tivelli (1999) encontrou uma produtividade de 35t/ha para o híbrido Elisa.

O interessante é que comparando-se o pimentão vermelho com o amarelo, o vermelho representa o maior volume de produção, pelo fato de estar sendo produzido há muitos anos em condições de campo. Esses frutos atingem cotação cerca de 100% maior que a de frutos verdes, e em algumas épocas pode ser maior essa diferença (Tivelli, 1999). No entanto, é difícil a comparação da produção entre as diversas pesquisas realizadas com pimentão, em virtude dos mais variados conceitos utilizados pelos autores. Com isso Fontes (1997) sugere que nessas pesquisas com ambiente protegido sejam obtidas a produtividade levando-se em consideração a classificação dos frutos, além do tempo entre a semeadura e a última colheita.

### **2.3 Evapotranspiração em ambiente protegido**

Na agricultura, há grande interesse em conhecer as interações entre os vegetais e os elementos meteorológicos, bem como a quantidade de água evapotranspirada por uma cultura ao longo do seu ciclo, pois a água é um dos principais limitantes na produção agrícola, sendo que na sua deficiência, além de redução na produtividade, interfere no crescimento e desenvolvimento da cultura, ocorrendo um maior desenvolvimento radicular, mas com menor eficiência de absorção de nutrientes, tendo-se posteriormente um fruto de qualidade inferior. Quando em excesso, ocasiona incidência de doenças, lixiviação de nutrientes, e queda da atividade do sistema radicular devido à podridões de raiz (Pinto et al., 1984; Caixeta, 1984). Com isso, a quantidade de água na cultura do pimentão é muito

importante, pois influencia no número de flores e frutos, sendo reduzido quando a disponibilidade de água é baixa, ocorrendo o mesmo para o tamanho do fruto e acumulação de matéria seca (Casali & Couto, 1984; Siviero & Bernardoni, 1990).

O crescimento e a produtividade das plantas estão diretamente relacionados com a água, porém, da quantidade de água que passa através da planta, apenas 1% fica envolvida nos processos metabólicos, sendo que a maior percentagem utilizada pela planta é vaporizada para o ar atmosférico (Rosenberg et al., 1983).

Na avaliação da transferência de água de uma cultura para a atmosfera é indispensável o conhecimento da radiação solar incidente, a absorção dessa radiação de ondas curtas, a emissão da superfície e da atmosfera, para se entender o balanço de radiação, bem como o balanço de energia na superfície do solo. As medidas de saldo de radiação em superfícies de solo limpo ou vegetada tem aplicabilidade direta em práticas agrícolas, principalmente no planejamento racional do uso da água, do uso adequado do solo e no zoneamento regional, condicionados pela caracterização correta do balanço de energia e da determinação da evapotranspiração. Com isso, grande quantidade de energia consumida na evapotranspiração tem origem quase toda na energia radiante e na energia térmica do ar que aquece a cultura, sendo ambas as fontes oriundas da radiação solar. As pesquisas com balanço de energia comprovam que a maior fonte de energia para a evapotranspiração é o saldo de radiação, conforme Tanner (1960), Fritschen (1965), Van Bavel (1966), Villa Nova (1973), Mota (1976), Pedro Junior & Villa Nova (1981), Alfonsi et al. (1986), Fontana et al. (1991), Cunha & Bergamaschi (1994), Cunha et al. (1996), Alves et al. (1998), Galvani et al. (1999) e Netto et al. (1999). No entanto, quando as plantas não formam um dossel completamente fechado e sombreando o solo, é possível que a radiação líquida medida sobre uma cultura não represente uma quantidade proporcional à evapotranspiração, pois as plantas divergem de um arranjo ideal em seu dossel, sendo que a estimativa idealizada pode divergir da verdade, pois uma planta de feijão em pé em uma fila, uma planta de milho isolada em uma colina, ou uma árvore isolada, deve seguramente se comportar diferentemente de um dossel ideal (Waggoner & Reifsnyder, 1961).

A utilização do ambiente protegido aumenta a produtividade e a produção de alimentos, e requer menor quantidade de água, pois a evapotranspiração nesse ambiente fica em torno de 60 a 80% da encontrada em condições externas (Van der Post et al.,

1974; Montero et al., 1985; Prados, 1986; Rosenberg et al., 1989). Martins (1992), utilizando-se de estufa tipo guarda-chuva em dois anos de pesquisa, verificou que a evaporação em ambiente protegido sob cobertura plástica foi cerca de 30% a menos do que no campo, o que contribuiu para uma menor evapotranspiração da cultura dentro do ambiente protegido. A FAO estima que a evapotranspiração é reduzida em 30%, e o uso de água por unidade de produção pode ser diminuído em até 50%, tendo-se maior produtividade dos cultivos em ambientes protegidos (Stanghellini, 1993). A evapotranspiração estimada pelo método de Penman em ambiente protegido com cobertura de polietileno, com densidade de 0,1mm, em Pelotas, RS, apresentou-se entre 45 e 70% daquela verificada no exterior (Farias et al., 1994). Segundo Montero et al. (1985), a menor evapotranspiração no interior do ambiente protegido é devido, principalmente, à parcial opacidade do filme plástico à radiação e à redução da ação dos ventos, que são os principais fatores de demanda evaporativa da atmosfera, embora a temperatura do ar e a umidade relativa, em alguns momentos, possam ser, respectivamente, maior e menor no interior do ambiente protegido do que a céu aberto, o que contribuiria para maior evapotranspiração.

As hortaliças constituem um grupo de culturas muito exigentes em água, lembrando que esta constitui mais de 80% do peso das plantas, na maioria das espécies (Filgueira, 1982). Segundo Doorenbos & Kassam (1994), a cultura do pimentão, em condições de campo, tem um ciclo de 120 a 150 dias, e com respeito à sensibilidade ao suprimento de água, é classificada como de sensibilidade média a alta durante todo o ciclo, sendo bastante sensível ao déficit hídrico do solo, sobretudo no início da floração, quando não deve utilizar mais do que 25% da água disponível.

## **2.4 Temperatura e umidade relativa do ar em ambiente protegido**

Normalmente, as variações de temperatura verificadas no interior do ambiente protegido, no sentido vertical, são causa direta dos fenômenos de transmissão de calor por radiação, por condução e, principalmente por convecção. A temperatura interna de um ambiente protegido está intimamente ligada ao balanço de energia (Martinez Garcia, 1978), é dependente do tamanho da mesma, das propriedades óticas da cobertura (Seeman, 1979; Pedro, 1987; Pedro & Vicente, 1988; Mougou et al., 1989; Buriol et al., 1993) e das condições meteorológicas locais (Buriol et al., 1993; Farias et al., 1993a). Assim, ocorre um

gradiente de temperatura no interior do ambiente protegido, variando de um mínimo nas proximidades do solo, até um máximo à medida que se aproxima do teto (Alpi & Tognoni, 1991).

Mills et al. (1990) atribuíram à radiação, as altas temperaturas observadas durante o dia em um túnel coberto por polietileno, na África do Sul, verificando que as temperaturas não diferiram muito daquelas do exterior, fato do polietileno apresentar pequena opacidade às radiações de ondas longas.

O valor médio da temperatura mínima do ar no interior de ambientes protegidos cobertos com filme de PEBD, tende ser igual ou ligeiramente superior à temperatura do ar externa (Montero et al., 1985; Mougon et al., 1989; Mills et al., 1990; Buriol et al., 1993; Farias et al., 1993a).

A temperatura máxima do ar no interior do ambiente protegido é mais elevada, sendo a mínima praticamente igual ao ambiente externo, e a amplitude térmica diária verificada no interior do ambiente protegido é maior com relação ao ambiente externo (Seeman, 1979; Montero et al. 1985; Farias et al., 1993a). Martins (1992) utilizando-se de um ambiente protegido tipo guarda-chuva (8x25m), durante o verão em Jaboticabal, SP, obteve maiores valores de temperatura máxima no seu interior, havendo porém pequeno efeito da cobertura plástica sobre a temperatura mínima e umidade relativa do ar, quando comparada àquela em campo aberto. Faria Junior et al. (1993) estudando cultivares de alface em cultivos protegidos com coberturas plásticas do tipo arco e capela, em Ilha Solteira, SP, durante o verão, concluíram que os ambientes protegidos não diferiram entre si em nenhuma das variáveis climáticas estudadas, temperatura média, máxima e mínima do ar, e umidade relativa. Porém os valores de temperatura máxima foram mais elevados nos ambientes protegidos que em campo aberto, entre 3 e 5°C, o mesmo ocorrendo com a umidade relativa. Com relação às temperaturas mínimas, as diferenças foram muito pequenas, de 0,3°C. Camacho et al. (1995), usando um ambiente protegido tipo túnel alto, coberto com filme de polietileno (0,1mm) e orientada na direção norte-sul, no município de Capão Leão, RS, observaram em relação à temperatura do ar, que o maior efeito da cobertura ocorreu sobre as máximas, verificando-se valores superiores internamente, enquanto que as mínimas internamente foram inferiores às obtidas externamente, entre junho e outubro, mostrando a

incapacidade do abrigo proporcionar um adequado armazenamento de energia, atribuindo isto à grande transparência do material de cobertura às radiações de ondas longas.

Farias et al. (1993a), utilizando-se de ambiente protegido com cobertura plástica na região Sul do Brasil, encontraram valores de umidade relativa mais elevados no período noturno em relação ao meio externo, em razão da maior concentração de vapor d'água no interior do ambiente protegido, estando associado ao fato de as cortinas estarem abertas, não restando o vapor d'água, e pela temperatura do ar mais elevada sob a cobertura plástica. Isto também foi observado por Montero et al. (1985) e Levit & Gaspar (1988), ambos encontrando, em média, valores mais elevados de umidade relativa à noite e pela manhã, e valores praticamente iguais no período mais quente do dia. Já Farias et al. (1993a), em observações feitas de setembro de 1989 a janeiro de 1990, no interior de um ambiente protegido tipo capela (10x50m), em Capão Leão, RS, encontrou valores médios de temperatura e umidade relativa do ar, com relação ao ambiente externo, bastante próximos.

Al-Riahi et al. (1988), trabalhando com um ambiente protegido tipo túnel com cultura de pepino, em Bagdá, Iraque, verificaram que durante os meses de janeiro a abril de 1987, as médias mensais das temperaturas diárias do ar foram sempre superiores no ambiente protegido (entre 1,1 e 3,2°C). Martins et al. (1992) caracterizaram o microclima de um ambiente protegido tipo capela (10x50m), coberta por filme de polietileno de 0,1mm de espessura, em Pelotas, RS, entre outubro e dezembro de 1988. Concluíram que a temperatura média do ar no interior do ambiente protegido, em todos os meses, não apresentou muita diferença à do campo aberto (2 a 3°C). Já a umidade relativa do ar, dentro e fora do ambiente protegido, não apresentou diferenças durante o dia, mas à noite, verificou-se valores mais elevados no ambiente protegido.

## **2.5 Componentes da radiação solar em ambiente protegido**

O ambiente protegido com cobertura de polietileno acarreta alterações em diversos elementos meteorológicos ainda pouco estudadas no Brasil, e seus efeitos também ainda desconhecidos. A medição dos componentes da radiação em cultivos protegidos sofre alterações por diversos fatores, tais como o sombreamento do sensor pela estrutura de sustentação do ambiente protegido, a forma e inclinação do teto, o tipo de cobertura das laterais e as reflexões internas (Edwards & Lake, 1964, 1965).

Efeitos cumulativos, como o crescimento, o armazenamento de açúcares, e o consumo de água de uma determinada cultura, dependem da quantia integrada de luz solar que alcança a planta durante várias horas ou dias. As temperaturas das plantas, que governam a taxa de processos bioquímicos no interior da planta, dependem da radiação solar instantânea incidente na planta (Gates, 1965).

Al-Riahi et al. (1988), trabalhando com um ambiente protegido tipo túnel com cultura de pepino, em Bagdá, Iraque, verificaram que as médias mensais da radiação solar global foram maiores no ambiente externo, e ainda estabeleceram relações entre a radiação solar global e radiação líquida de ondas curtas, global e líquida total, dentro e fora do ambiente protegido, concluindo que as radiações global, líquida de ondas curtas, e líquida total, podem ser estimadas com sucesso a partir da radiação solar global medida a céu aberto.

Grodzki et al. (1991) comparando o interior de dois modelos de ambientes protegidos com cobertura plástica (capela e triunfo), com o ambiente externo, em Curitiba, PR, concluíram que a radiação recebida é interceptada em 40%, não afetando o desenvolvimento das plantas. Martins et al. (1992) analisando o microclima de um ambiente protegido tipo capela (10x50m), coberta por filme de polietileno de 0,1mm de espessura, em Pelotas, RS, determinaram uma transparência à radiação solar do plástico empregado, de 81,5%.

Farias et al. (1993b) verificaram em média, que 83% da radiação solar global chegava no interior de um ambiente protegido tipo capela (10x50m), ao redor das 12 horas e no período de 10 a 21 de novembro de 1989, no município de Capão do Leão, RS, cujo o teto da mesma apresentava inclinação de 15°. Constataram também que a transmissividade variou entre 65 e 90%, em dia de céu limpo, e em média, 45% da radiação solar global correspondeu à radiação difusa, ao passo que externamente este valor foi de 24%, evidenciando o efeito dispersante da cobertura plástica. Observaram que o efeito do ângulo de incidência da radiação solar global sobre a transmissividade variou durante o dia, sendo que a maior transmitância da cobertura de plástico ocorreu das 14 às 16:00 h, com valor de 93%, sendo menor próximo ao nascer e pôr do Sol, com 52% às 8:00 h e de 77% às 17:00 h.

Avaliando os elementos meteorológicos em um ambiente protegido tipo túnel alto, coberta com filme de polietileno (0,1mm) e orientada na direção norte-sul, no município de Capão Leão, RS, Camacho et al. (1995) observaram que no período de 01/11/92

a 30/11/93, a transmissividade à radiação solar global foi em média, de 78%, variando de 65 a 89%, sendo maior na primavera que no outono. Durante o dia, a maior transmissividade da cobertura ocorreu nas horas próximas do meio-dia, e a fração difusa da radiação solar foi maior no interior do ambiente protegido.

Em Botucatu, SP, Frisina (1998) utilizando-se de ambiente protegido tipo túnel cultivado com alface, e coberto com PEBD de 100 $\mu$ m, determinou uma transmissividade média de 79,59%. Assis (1998), também em Botucatu, SP, analisando ambientes protegidos cobertos com PEBD de 100 $\mu$ m, nas orientações N-S e L-O, obteve variações de transmissividade de 55 a 77% para N-S e entre 66 a 78% para L-O; com relação à radiação difusa, apresentou-se maior no interior do ambiente protegido em dias com céu limpo a parcialmente nublados, e o contrário em dias com céu nublado. A orientação dos ambientes protegidos não exerceu nenhum efeito sobre a radiação difusa no seu interior, devido a alta difusão, que proporcionou infinitos ângulos de incidência e direções ao receber a radiação difusa. A razão  $R_d/R_g$  variou de 23 a 48% para a condição externa, no ambiente protegido N-S variou de 44 a 68%, e no ambiente protegido L-O variou de 51 a 76%.

Pezzopane et al. (1995) estudando as variações da radiação líquida, dentro e fora de um ambiente protegido de polietileno tipo arco, em Campinas, SP, sob condições de noite e céu limpo, nublado e parcialmente nublado, observaram que a perda de energia radiante durante o período noturno foi sempre menor no interior do ambiente protegido, principalmente em noites de céu limpo. Silva (1997), avaliando parâmetros ambientais em dois modelos de ambiente protegido com cobertura plástica, arco e capela, em Jaboticabal, SP, no período de março a julho de 1996, verificou que o modelo capela mostrou maior capacidade de absorção de energia que o modelo arco, o que foi atribuído a uma incidência mais perpendicular dos raios solares no modelo capela, no período analisado.

Uma superfície nua ou vegetada sofre grande variação diurna na temperatura, e uma grande quantidade de energia é trocada através dos processos de evaporação e transpiração. A quantidade de energia radiante disponível na superfície é o saldo de radiação, ou seja, a contabilização entre toda a energia radiante recebida e perdida através desta superfície (Fritschen, 1963, 1965; Budiko, 1974), sendo definido como:

$$Rn = Rg - r_{OC}Rg + Ra - r_{OL}Ra - Rs$$

sendo:

$Rn$  = saldo de radiação;

$Rg$  = irradiância solar global;

$r$  = coeficiente de reflexão da superfície, sendo  $r_{OC}$  para ondas curtas

e  $r_{OL}$  para ondas longas;

$Ra$  = radiação atmosférica;

$Rs$  = radiação emitida pela superfície.

O coeficiente de reflexão constitui-se na razão entre a radiação eletromagnética refletida pela superfície e a incidente. O saldo de radiação de ondas curtas é igual à radiação global ( $Rg$ ) recebida na superfície menos a quantidade de ondas curtas refletida ( $Rr$ ). O saldo de ondas longas ( $Rol$ ) é obtido subtraindo-se a radiação emitida pela atmosfera da emissão do solo, sendo que a emissão de radiação ondas longas de um corpo é função da temperatura, descrita pela relação:

$$Rol = \varepsilon \sigma T^4$$

onde:

$\varepsilon$  = emissividade da superfície;

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann;

$T$  = temperatura absoluta da superfície.

As medidas de saldo de radiação em comunidades vegetais demonstram os estados de conforto térmico, hídrico e as reações biofísicas e bioquímicas, os quais através da reação genótipo-ambiente determinam a produção da biomassa da vegetação (folhas, flores, caules, ramos e raízes) e conseqüentemente dos frutos.

O saldo de radiação é um dos principais elementos alterados pelo uso da cobertura de polietileno em ambiente protegido, influenciando decisivamente no crescimento e desenvolvimento das culturas, e afetando conseqüentemente sua produtividade. Sua medida é

feita através de saldos radiômetros, instrumentos imprescindíveis para a medição da radiação disponível aos processos físicos e biológicos que ocorrem na superfície do solo, devendo ser montado sobre o dossel denso e completamente fechado, para que a radiação líquida absorvida pelo dossel seja equivalente à medida pelo equipamento, sendo que a troca entre o dossel e o solo é desprezível (Gates, 1965). A medida do saldo de radiação através dessa instrumentação se deu em estudos de convergência de fluxo (Funk, 1959), cobertura de nuvens (Funk, 1962) e balanço de energia em mamíferos (Funk, 1964). No entanto, quando as plantas não formam um dossel completamente fechado e sombreando o solo, é possível que a radiação líquida medida sobre uma cultura não represente o real (Waggoner & Reifsnyder, 1961).

Schulze (1961) introduziu o polietileno no instrumento de medida do saldo de radiação, considerado como proteção para evitar a dependência do sensor à velocidade do vento e com propriedades transmissivas em todos os comprimentos de onda, apresentando-se como saldo radiômetro Schulze. A utilização do saldo de radiação é limitada ao balanço de energia em práticas agrícolas e em cálculos da evaporação da água, onde é indispensável mesmo com imprecisões da ordem de 10-15% entre saldos radiômetros de diferentes aspectos e fabricantes (Kondratyev, 1970).

A evapotranspiração é apropriadamente relacionada com o saldo de radiação quando em condições úmidas e associado com vegetação natural ou com culturas agrícolas, sendo o saldo de radiação, o termo de radiação mais útil na determinação das perdas de água e na acumulação de matéria seca pelos vegetais (Stanhill et al., 1966).

Medições em superfícies naturais, segundo Stanhill et al. (1966), revelaram que o total diário do saldo de radiação ( $R_n$ ) correspondeu a 58% do total diário da radiação global ( $R_g$ ), para superfície de água a céu aberto. Essa relação foi de 25% para desertos e de 50% para superfícies vegetadas. Esses pesquisadores tiveram resultados da razão  $R_n/R_g$  obtidos por diversos pesquisadores em superfícies gramadas com valores variando de 30% a 68%, e concluíram que em geral, o valor dessa razão aumenta com a diminuição da latitude, devido principalmente a um menor coeficiente de reflexão nas baixas latitudes, em comparação com latitudes altas. A razão  $R_n/R_g$  para culturas de abacaxi, milho e cana-de-açúcar foi de 67%. A média estacional de  $R_n/R_g$  para totais diários sobre leguminosa de pastagem, pasto de grama e solo limpo, foram de 56%, 54% e 50% respectivamente (Kalma, 1972). Medição do saldo de radiação sobre grama e cana-de-açúcar altas, mostraram-se

similares às aquelas medidas sobre grama baixa quando essas duas condições estavam adequadamente abastecidas com água. Quando uma parte da superfície gramada sofre deficiência hídrica, o saldo de radiação é menor que o da cana-de-açúcar irrigada, porque o tipo de superfície vegetada pode causar diferenças para as medidas do saldo de radiação (Glover, 1972).

Em Botucatu, SP, Souza (1996) observou que o saldo de radiação sob variadas condições de cobertura do céu e de área foliar da cultura de feijão-vagem, em condições de campo durante todo o ciclo, teve o componente de radiação solar global ( $R_g$ ) distribuído em 68%, 85% e 17% para os componentes saldo de radiação ( $R_n$ ), balanço de ondas curtas (BOC) e balanço de ondas longas (BOL), respectivamente. O saldo de radiação em ambiente protegido com cobertura de polietileno sofre alteração tanto pelo tipo de cobertura quanto pelo material da estrutura de sustentação desse ambiente, sendo que a distribuição média do componente solar global sobre o cultivo de feijão-vagem em ambiente protegido, ficou em 66%, 76% e 10% para os componentes  $R_n$ , BOC, e BOL.

Frisina (1998) cultivando alface em ambiente protegido coberto com PEBD de 100 $\mu$ m, em Botucatu, SP, concluiu que houve um maior aproveitamento de conversão da radiação global no interior do ambiente protegido, sendo que em média, o saldo de radiação de ondas curtas foi superior em condição de campo, não caracterizando maior nível de conversão da energia da radiação solar, e apresentando uma maior perda de radiação de ondas longas na condição de campo, em torno de 50%.

O saldo de radiação pode ser medido ou estimado por equações que consideram-o como sendo uma componente entre o fluxo de radiação incidente à superfície do solo, descontado o fluxo de radiação refletida pela superfície, mais o fluxo de radiação de onda longa emitida pela superfície, descontado do fluxo de origem atmosférica que será contra-irradiado para o sistema. A forma mais comum de relacionar o saldo de radiação com as componentes da radiação solar, é através do modelo de regressão linear simples, onde a componente solar global ( $R_g$ ) ou a componente solar balanço de ondas curtas (BOC) é considerado variável independente, sendo específico para cada cultura e local, com destaque de alguns trabalhos tais como Shaw (1956), Monteith & Szeicz (1962), Fritschen (1967), Davies & Buttamor (1969), André & Viswanadham (1983), Cunha et al. (1989).

A temperatura do solo pode ser considerada como um dos efeitos mais importantes do balanço de energia, pois dela depende o desenvolvimento das plantas (Van Wijk, 1965). A semente não irá germinar, até que a temperatura do solo alcance um valor crítico e depois aquele ritmo de desenvolvimento normal também necessitará de uma temperatura adequada. As reações químicas e a liberação dos nutrientes para a planta, dependem de faixas ideais de temperatura do solo, sendo a maior causa da variação da temperatura na superfície do solo é alteração da intensidade da radiação solar (Van Wijk, 1966). Uma considerável fração desta radiação alcança a superfície do solo se não houver uma densa vegetação cobrindo o solo. O fluxo de calor depois atravessa o solo, principalmente por condução, e este fluxo de calor é um importante parâmetro em modelos de balanço de energia, entre o ar e o solo, não somente para modelos de crescimento de plantas, mas também para modelos meteorológicos (Van Loon et al., 1998).

## **2.6 Coeficiente de reflexão**

Nas superfícies vegetadas, o percentual da radiação solar incidente que é refletido pela superfície do solo-vegetação, é representado pelo coeficiente de reflexão, parâmetro indispensável para se estabelecer o balanço de radiação à superfície do solo, o qual é dependente da coloração da vegetação, condições de umidade do ar e do solo, percentagem de cobertura do solo, arranjo foliar da cultura, ângulo de inclinação do Sol, quantidade e tipo de nuvens (Stanhill et al., 1968; Blad & Baker, 1972; Azevedo et al., 1990; Leitão et al., 1990). Esse coeficiente é considerado um dos componentes mais importantes no saldo de radiação, o qual caracteriza as condições de reflexão da superfície. Pode variar de zero, para uma superfície completamente negra, até um, para uma superfície completamente branca (Budiko, 1974). O coeficiente de reflexão do solo depende principalmente do seu conteúdo de matéria orgânica e água, da textura e do ângulo de incidência da radiação, sendo que o seu valor para um solo úmido é menor do que para um solo seco.

Em superfícies naturais com densa cobertura de vegetação, o coeficiente de reflexão varia entre 0,10 a 0,20-0,25 (Budiko, 1974). A floresta apresenta um coeficiente de reflexão menor que os vegetais de porte baixo, sendo explicado pela melhor condição de absorção dentro da cobertura vegetal, onde a probabilidade do fluxo de radiação solar penetrar é maior, e as primeiras reflexões seriam absorvidas pelos elementos da

vegetação. A arquitetura de uma planta apresenta muitas variações, e segundo Monteith (1973), esse índice é dependente da geometria do dossel vegetativo, do ângulo de elevação do Sol e das propriedades radiativas dos componentes da vegetação. Com relação ao ângulo de elevação solar, os mínimos valores do coeficiente de reflexão são registrados para o Sol próximo ao zênite, aumentando à medida que o Sol se aproxima do horizonte, devido a uma menor possibilidade de múltiplo espalhamento pelos elementos do dossel vegetativo.

No Brasil, trabalhando com soja em Jaboticabal, SP, André & Viswanadham (1983) encontraram um coeficiente de reflexão médio diário variando de 0,12 a 0,26, e tendo uma relação inversa com a altura. Os autores comentam que superfícies de natureza complexa, as quais apresentam muitas variações com partes cobertas e descobertas, mostram geralmente uma diminuição do coeficiente de reflexão com o aumento da elevação solar, podendo isto ser devido a uma parte significativa da radiação incidente ser bloqueada dentro desses espaços. Fontana et al. (1991) encontraram para soja cultivada em Taguari, RS, um coeficiente de reflexão de 0,26 para um índice de área foliar entre 4,7 e 7,7. Analisando uma cultura de algodão herbáceo em Sousa, PB, Azevedo et al. (1991) encontraram um coeficiente de reflexão variando de 0,14, logo após o plantio, a 0,25, quando a cultura atingiu o máximo do seu desenvolvimento, e decrescendo para 0,20 no final da fase de maturação, devido principalmente à mudanças na coloração por redução da fotossíntese e queda de folhas caducas. Alves et al. (1998), analisando o coeficiente de reflexão de um cultivo de melão, no município de Mossoró, RN, concluíram que o coeficiente de reflexão médio foi de 0,20, com valores mínimos de 0,18 no início do desenvolvimento vegetativo e máximo de 0,23 quando a cultura alcançou o máximo de desenvolvimento vegetativo, decrescendo em seguida até atingir 0,20, no período de maturação, decorrente da mudança de coloração e queda das folhas.

Em Botucatu, SP, Souza (1996), conduzindo cultura de feijão-vagem em Botucatu, SP, concluiu que o coeficiente de reflexão diurno variou com a elevação solar, sendo maior após o amanhecer e próximo ao pôr do Sol, variando em média de 0,10 a 0,16 para o cultivo em campo, e para o cultivo em ambiente protegido variou em média de 0,20 a 0,25. Frisina (1998), cultivando alface em ambiente protegido, constatou que o coeficiente de reflexão aumentou de 12 a 27% durante o ciclo da cultura, devido ao crescimento e aumento da área foliar da cultura. Assis (1998) analisando ambientes protegidos cobertos com PEBD com cultura de alface cv. Elisa, nas orientações N-S e L-O, obteve valores médios: no verão

de 0,26, 0,20 e 0,32, e no inverno, 0,29, 0,21 e 0,18, para as orientações L-O, N-S e condição externa, respectivamente. O mesmo autor, utilizando uma outra cultivar de alface (cv. Verônica) obteve valores médios de 0,25 (L-O), 0,21 (N-S) e 0,18 (externo); e para a uma cultura de pepino, obteve 0,22 (L-O), 0,16 (N-S) e 0,18 (externo).

## **2.7 Balanço de energia**

A energia utilizada nos processos de aquecimento e resfriamento do ar e do solo, de transferência de água na forma de vapor da superfície do solo para a atmosfera, e do metabolismo das plantas e animais, é proveniente da radiação solar. É imprescindível o conhecimento da partição dos componentes do balanço de radiação à superfície do solo, principalmente a radiação solar incidente e refletida, e o saldo de radiação, para um estudo criterioso das perdas d'água da superfície para a atmosfera.

O método do balanço de energia é considerado um método racional de medida de evapotranspiração de uma superfície, o qual mede a energia disponível em um sistema natural e separa as frações usadas nos diferentes processos, entre eles o da evaporação. Dentre todos os métodos de medida e estimativa da evapotranspiração, apenas as medidas lisimétricas e o método de balanço de energia podem fornecer bons resultados (Villa Nova, 1973). Através deste método é possível repartir o saldo de radiação da superfície em questão, nos processos de evapotranspiração, no aquecimento do ar e no aquecimento do solo, durante o dia.

Bowen (1926) foi o pioneiro nos estudos de balanço de energia sobre uma superfície natural, determinando a razão entre os fluxos de calor latente e sensível emitidos por uma superfície de água, durante o processo de evaporação, em função da pressão de vapor e temperaturas observadas sobre uma superfície. Esta relação foi então chamada de Bowen, denominando-se método de balanço de energia todo aquele que se utiliza da razão de Bowen para o cálculo dos fluxos de vapor e calor sensível. Este método tornou-se uma técnica padrão para a medição dos fluxos de calor sensível e latente, oferecendo resultados satisfatórios em diversos estudos (Lopes et al., 1999). Harbeck (1968) analisando exaustivamente técnicas de estimativa de evaporação e evapotranspiração, usadas nos E.U.A., concluiu que o método do balanço de energia apresenta alta precisão nos resultados.

A equação do balanço de energia ( $R_n - G - LE - H = 0$ ) é obtida a partir de medições do saldo de radiação ( $R_n$ ), do fluxo de calor no solo ( $G$ ) e de estimativas dos fluxos turbulentos  $LE$  e  $H$ , em função da razão  $H/LE$ , proposta por Bowen (1926), a qual é determinada via medições de gradientes psicrométricos sobre uma cultura (Cunha & Bergamaschi, 1994). Apesar dos erros oriundos da sensibilidade e calibração instrumental, erros inerentes do cálculo da razão de Bowen e os erros causados pela advecção de energia (Fuchs & Tanner, 1970; Villa Nova, 1973; Angus & Watts, 1984), este método tem sido amplamente empregado (Cunha & Bergamaschi, 1994).

De acordo com Villa Nova (1973), a distribuição de energia líquida entre os vários componentes do balanço de energia ( $R_n$ ,  $G$ ,  $LE$ ,  $H$ ) na cultura do arroz e nas condições observadas no ensaio, depende do estado de umidade da camada superficial do solo, do estágio de desenvolvimento da cultura e das características das áreas laterais; e também concluiu que tendo em vista o alto custo e as dificuldades de operação de sistemas lisimétricos, recomenda o método do balanço de energia como padrão para medida a nível horário.

Com a utilização de radiômetros líquidos (saldos radiômetros), já citados por Gier & Dunkle (1951), Suomi & Tanner (1958), Tanner (1960), e dos medidores de fluxo de calor no solo já utilizados por Deacon (1950) e Monteith (1958), o método do balanço de energia aperfeiçoou-se muito devido a esses equipamentos já utilizados.

Suomi (1953) foi o primeiro a utilizar-se do método do balanço de energia para a determinação de evapotranspiração em uma cultura de milho, seguido de King (1957) em solo cultivado com algodão e solo nú. Comparações feitas por Denmead & McIlroy (1970) e Lourence & Pruitt (1971) entre a evapotranspiração medida por lisímetros de precisão e o método do balanço de energia, mostraram perfeita concordância dos dados.

Bernard (1965) afirma que a nível micrometeorológico o método do balanço de energia é o que dá os melhores resultados, ao passo que Blackwell (1965) verificou em seus experimentos que este método e o método aerodinâmico só dará bons resultados quando forem feitas as correções para a instabilidade atmosférica. Fritschen (1966) concluiu que o método do balanço de energia é impreciso em condições de oásis, onde grande quantidade de energia do ar é usada na evaporação, sendo perfeito apenas para grandes áreas úmidas, locais onde se faz pesadas irrigações.

Silva et al. (1999) estimando densidade de fluxo de calor sensível e latente, através do método de Bowen, para a localidade de Davis, CA, obtiveram concordância entre os valores medidos e estimados para os fluxos de calor latente (LE) e sensível (H) com coeficientes de determinação acima de 0,90. Os resultados melhoravam quando se aumentava a distância entre os sensores.

Diversos trabalhos foram realizados no Brasil, visando quantificar os componentes do balanço de energia através do método da razão de Bowen (1926), já considerado padrão para mensurar os fluxos de calor latente e sensível de acordo com o balanço de energia, como consta em Tanner (1960), Fritschen (1965), Van Bavel (1966), Villa Nova (1973), Mota (1976), Pedro Junior (1977), Pedro Junior & Villa Nova (1981), André & Viswanadham (1983), Alfonsi et al. (1986), Nishimura et al. (1986), Assis et al. (1987), Prates et al. (1987), Bergamaschi et al. (1988), Cunha et al. (1989), Medeiros (1990), Fontana et al. (1991), Cunha & Bergamaschi (1994), Cunha et al. (1996), Alves et al. (1998), Frisina (1998), Galvani et al. (1999) e Netto et al. (1999). Segundo Azevedo et al. (1991), o termo de maior dificuldade de determinação na equação do balanço de energia radiante, é o termo referente à radiação de ondas longas incidente na superfície do solo, dependente sobretudo do vapor d'água na atmosfera e da cobertura de nuvens.

Segundo Critten (1993) esses ambientes protegidos com cobertura plásticas ainda são poucos estudados, pois a geometria deste tipo de abrigo vegetativo é mais complicado que abrigos com laterais planas, sendo portanto importante estudos de balanço de energia nesses ambientes, principalmente os com cobertura de polietileno.

### **2.7.1 Componentes do balanço de energia**

Devido a importância do estudo do saldo de radiação, muitos trabalhos tiveram esse objetivo, tais como, André & Viswanadham (1982) trabalhando com solo sem cobertura e com cobertura vegetal, Cunha et al. (1989) e André (1996) com cultura de milho, Fontana et al. (1989) com cultura de girassol, André & Viswanadham (1983) e Fontana et al. (1991) com cultura de soja, e Alves & Azevedo (1997) com cultura de melão.

Na região leste dos Estados Unidos, no verão, Lemon et al. (1971) concluíram que o saldo de radiação ficou distribuído com 40 a 90% para o fluxo de calor latente, 10 a 60% para o fluxo de calor sensível e 5 a 10% para o fluxo de calor no solo. Chang

(1977) relata que na ausência de advecção, a evapotranspiração potencial é determinada principalmente pelo saldo de radiação, sendo que para regiões tropicais e médias latitudes no verão, o saldo de radiação contribui com 80 a 90% para o fluxo de calor latente.

Pedro Júnior & Villa Nova (1981), trabalhando com cultura de soja encontraram valores da ordem de 72% para o fluxo de calor latente de evaporação, 13% para fluxo de calor sensível e 15% para fluxo de calor no solo, em relação ao saldo de radiação ou como cita os autores, da energia líquida disponível no meio. Alfonsi et al. (1986) em cultura de milho encontraram 84, 2, 14% para LE, H e G, respectivamente. Fontana et al. (1991) em cultura de soja irrigada e não irrigada obtiveram 95% e 78% do saldo de radiação sendo utilizado nos processos de evapotranspiração, 2% e 7% utilizado como fluxo de calor no solo, em parcela irrigada e não irrigada, respectivamente. Ainda esses autores encontraram relação inversa entre fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente de evaporação. Valores encontrados por Cunha & Bergamaschi (1994) para cultura de alfafa encontram-se em 86, 9 e 5% para o fluxo de calor latente de evaporação, fluxo de calor sensível e no solo, respectivamente. Cunha et al. (1996) em Taquari, RS, analisando os componentes do balanço de energia pelo método de Bowen, obtiveram as seguintes proporções médias para o ciclo da cultura do milho: 80% na forma de fluxo de calor latente de evaporação, 14% na forma de fluxo de calor sensível na atmosfera, e 6% na forma de calor no solo. Observaram que a demanda de energia para o fluxo de calor latente de evaporação supera a demanda para o fluxo de calor sensível na atmosfera, aumentando a diferença entre ambos com o desenvolvimento da cultura; e o fluxo de calor no solo e o índice de área foliar são inversamente proporcionais, e a transferência de calor no solo acompanha a disponibilidade energética na superfície, representada pelo saldo de radiação.

Para Botucatu, SP, ao longo do ciclo da cultura do feijão-vagem, Souza (1996) encontrou razões LE/Rn, H/Rn e G/Rn de 68%, 31%, 2% e de 79%, 19%, 2%, para os cultivos externo e interno, respectivamente. Através da relação LE pela matéria seca total, notou-se que o cultivo em ambiente protegido consumiu 25% menos água e produziu 85% mais matéria seca total. A produção de vagens foi 22% maior em ambiente protegido, com uma eficiência no uso da água para a produção de vagens de  $8,07\text{kg.m}^{-3}$  e de  $13,68\text{kg.m}^{-3}$  para os cultivos externo e interno, respectivamente. Já Frisina (1998) encontrou valores de LE, H e G de 59%, 43%, 29% e de 83%, 10%, 18%, para os cultivos internos e externos, no

cultivo protegido de alface coberto com PEBD. Galvani et al. (1999) obtiveram a seguinte partição para os componentes do saldo de radiação ao longo do ciclo da cultura do pepino para a condição de ambiente protegido: 0,32; 108,41 e 9,36% para os fluxos de calor no solo, calor latente e calor sensível, respectivamente. Para as condições externas foi de 2,11; 86,11 e 5,87% para os fluxos de calor no solo, calor latente e calor sensível.

Em Piracicaba, SP, na cultura de feijão, Bergamaschi et al. (1988) encontraram a evapotranspiração potencial através do método de Penman, apresentando-se como um bom estimador do fluxo de calor latente. Nessas condições, o saldo de radiação contribuiu com 87%, 7% e 6%, para os fluxos de calor latente, sensível e no solo, quando o índice de área foliar do feijoeiro foi de 1,8; e com 77%, 16% e 7%, para os fluxos de calor latente, sensível e no solo, quando o índice de área foliar do feijoeiro foi de 1,25.

Segundo Alves et al. (1998), o fluxo de calor no solo representa a menor porção do saldo de radiação e também apresenta uma relação inversa com a área foliar do meloeiro. Já o fluxo de calor latente é superior ao saldo de radiação em 81,8% dos dias, caracterizando constante presença de advecção de calor sensível.

Netto et al. (1999), conduzindo ensaio com cultura de videira, em Petrolina, PE, obtiveram uma proporção superior a 80% do saldo de radiação no período de maior área foliar e ausência de advecção, usada como fluxo de calor latente de evaporação. Silva et al. (1999) em Petrolina, PE, realizando o balanço de energia pelo método de Bowen em cultura de mangueira var. Tommy Atkins, concluíram que o método se apresentou muito consistente quando comparado com o método do balanço de água no solo. O fluxo de calor latente apresentou valores da ordem de 75% do saldo de radiação, sendo maior nos primeiros estádios da cultura e diminuindo durante a fase de maturação dos frutos. Na maioria dos dias, o fluxo de calor sensível foi negativo, indicando que a cultura se encontrava ligeiramente mais aquecida que o ar atmosférico.

Okawa et al. (1998) analisando fluxos de energia com metodos tradicionais e alternativos sobre cultura de soja, em Santa Therezinha do Itaipu, PR, concluíram que o fluxo de calor latente foi bastante superior ao fluxo de calor sensível, sendo isto indicativo de grande disponibilidade de umidade no solo para evapotranspiração.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Localização da área experimental**

O experimento foi conduzido no período de 21/04/99 a 03/11/99, na área experimental do Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciências Ambientais, da Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, localizada no município de Botucatu, Estado de São Paulo, com latitude de 22°51' S, longitude de 48°26' W e altitude de 786 metros.

#### **3.2 Caracterização do clima**

Através da classificação climática de W. Köppen, o clima do município de Botucatu, SP, foi classificado como sendo Cwa, clima temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno com temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C, apresentando temperatura do mês mais quente de 23,9°C e do mês mais frio de 16,5°C, e uma temperatura média anual de 20,5°C; e com precipitação pluviométrica máxima de verão de 309,6mm e máxima de inverno de 108,6mm, com média anual de 1533,2mm; sendo esses valores encontrados para o período de 1971 a 1998 (Cunha et al., 1999).

### 3.3 Características químicas, físicas e classificação do solo

Foram coletadas amostras de solo compostas e aleatórias da área experimental para a análise química nas profundidades de 0 a 15cm e de 15 a 30cm, e física nas profundidades de 0 a 20cm, 20 a 40cm e de 40 a 60cm, segundo EMBRAPA (1997), sendo feitas amostragens para as condições de ambiente protegido e de campo. Os resultados podem ser observados nos Quadros 1 e 2.

Quadro 1 – Análise química da área experimental feita pelo Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciências do Solo.

| Camada<br>(cm)      | pH<br>CaCl <sub>2</sub> | M.O.<br>g/dm <sup>3</sup> | P <sub>resina</sub><br>mg/dm <sup>3</sup> | H+Al | K    | Ca<br>mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | Mg<br>mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | SB    | CTC   | V%   |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|------|------|------------------------------------------|------------------------------------------|-------|-------|------|
| 0-15 <sup>pt</sup>  | 5,8                     | 45,0                      | 539,0                                     | 15,0 | 10,5 | 98,0                                     | 54,0                                     | 163,0 | 178,0 | 92,0 |
| 15-30 <sup>pt</sup> | 6,2                     | 40,0                      | 329,0                                     | 16,0 | 12,0 | 69,0                                     | 39,0                                     | 120,0 | 136,0 | 89,0 |
| 0-15 <sup>ca</sup>  | 6,3                     | 50,0                      | 495,0                                     | 16,0 | 7,0  | 81,0                                     | 39,0                                     | 127,0 | 143,0 | 89,0 |
| 15-30 <sup>ca</sup> | 6,1                     | 33,0                      | 282,0                                     | 18,0 | 7,5  | 59,0                                     | 32,0                                     | 99,0  | 117,0 | 84,0 |

0-15<sup>pt</sup> = solo do ambiente protegido; 15-30<sup>pt</sup> = solo do ambiente protegido; 0-15<sup>ca</sup> = solo do campo; 15-30<sup>ca</sup> = solo do campo.

Quadro 2 – Análise física da área experimental feita pelo Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciências Ambientais.

| Camada<br>(cm)      | Granulometria (%) |       |       |
|---------------------|-------------------|-------|-------|
|                     | Argila            | Silte | Areia |
| 0-20 <sup>pt</sup>  | 29,35             | 10,58 | 60,07 |
| 20-40 <sup>pt</sup> | 31,35             | 7,53  | 61,12 |
| 40-60 <sup>pt</sup> | 28,45             | 10,19 | 61,36 |
| 0-20 <sup>ca</sup>  | 22,45             | 13,78 | 63,77 |
| 20-40 <sup>ca</sup> | 26,05             | 8,40  | 65,55 |
| 40-60 <sup>ca</sup> | 26,05             | 8,38  | 65,57 |

0-20<sup>pt</sup> = solo do ambiente protegido; 20-40<sup>pt</sup> = solo do ambiente protegido; 40-60<sup>pt</sup> = solo do ambiente protegido; 0-20<sup>ca</sup> = solo do campo; 20-40<sup>ca</sup> = solo do campo; 40-60<sup>ca</sup> = solo do campo.

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

### 3.4 Curva de retenção de água do solo

As amostras de solo para elaboração da curva de retenção de água do solo em ambiente protegido foram coletadas a 0 a 10, 10 a 20, e 20 a 30cm de profundidade, sendo a análise realizada no laboratório de Relações Solo/Água/Planta do Departamento de

Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, Campus de Botucatu, para os potenciais matriciais correspondentes a 0,1, 0,3, 0,5, 1,0, 5,0 e 15,0 atmosferas conforme a Figura 1.

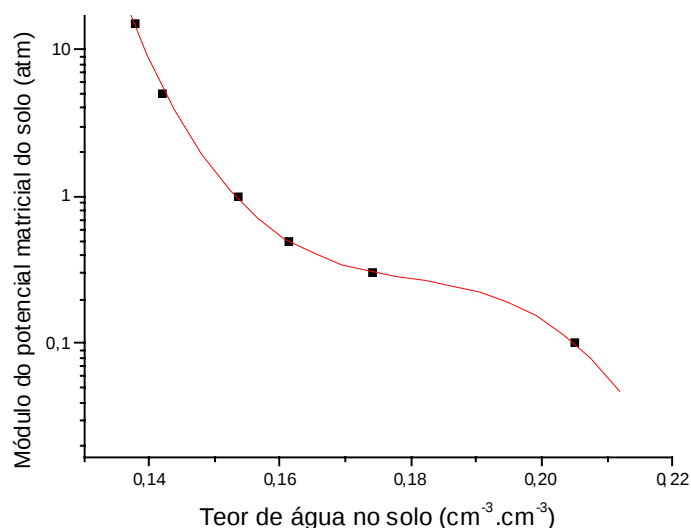


Figura 1 - Curva de retenção de água do solo na camada de 0 a 30 cm em ambiente protegido.

### 3.5 Área experimental

A área experimental constou de duas parcelas, sendo a primeira (Figura 2) constituída por um ambiente protegido tipo arco não-climatizada e orientada no sentido NNW-SSE, constituída de estrutura de ferro galvanizado e área de  $280 \text{ m}^2$ , sendo 7,0 m de largura por 40,0 m de comprimento, com laterais a 2,2 m acima do nível do solo e arco central de 4,0 m, coberto com polietileno de baixa densidade claro de  $120 \mu\text{m}$ , e com malha preta de polipropileno com redução de 50% da radiação solar nas laterais. As laterais do ambiente protegido foram fixadas com “estirantes” de arame presos ao solo por meio de um gancho, e os esticadores presos em uma base de concreto, formando um ângulo de  $45^\circ$  com a lateral do ambiente protegido. Esses reforços foram necessários devido aos ventos fortes que ocorrem no período do inverno, pois o local apresenta um amplo horizonte aberto em todas as direções geográficas. A segunda parcela, constituída por uma área de campo orientada no mesmo sentido, com dimensões idênticas à primeira e distante 15 metros (Figura 3).



Figura 2 – Fotografia ilustrando a área experimental no cultivo protegido (Foto: Cunha, A.R., em 24/09/99).



Figura 3 – Fotografia ilustrando a área experimental no cultivo de campo (Foto: Cunha, A.R., em 24/09/99).

### 3.6 Híbrido

O híbrido de pimentão utilizado foi o Elisa, o qual apresenta frutos vermelhos quando maduros. Este híbrido foi escolhido devido ao fato de o mesmo apresentar elevado valor comercial e grande aceitação do consumidor brasileiro, levando-se em consideração a qualidade dos frutos para se obter uma relação custo/benefício favorável para o seu cultivo em ambiente protegido.

### 3.7 Irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi o de tubos gotejadores, trabalhando com 5,0 m.c.a. (metro de coluna d'água) e vazão de 1,0 L/h por gotejador, com espaçamento entre os gotejadores na linha de plantio de 0,30 m, sendo 2 tubos por linha de plantio. Utilizou-se de um filtro de placas para evitar o entupimento dos tubos gotejadores e conseqüente variação espacial da lâmina de água irrigada. A quantidade de água utilizada na irrigação da cultura de pimentão foi determinada baseando-se na aplicação do balanço de energia através da razão de Bowen, efetuando diariamente a estimativa do fluxo convectivo de calor latente do dia anterior para a sua posterior reposição. Para isso, correlacionou-se a vazão dos tubos gotejadores em milímetros (mm) com o tempo em minutos, para estimar o tempo de irrigação (Tempo) em função da vazão dos tubos gotejadores, e através dos valores de fluxo de calor latente em milímetros de equivalência de evaporação (ET) estimados do dia anterior, foi possível repor a lâmina de água evaporada na superfície da cultura, através da relação:

$$Tempo = 9,461(ET) \quad (1)$$

sendo:

*Tempo* = tempo de irrigação em minutos;

*ET* = equivalente de evaporação em milímetros.

Para o monitoramento da variação do armazenamento de água no solo, foi calculado o balanço hídrico do ano de 1999 em planilha Excel elaborada por Rolim et al. (1998), adotando-se o método de Thornthwaite & Mather (1955) para uma capacidade de água disponível de 50mm, com a evapotranspiração potencial sendo estimada pelo método de Thornthwaite (1948), conforme Figura 4. Os dados de temperatura média mensal do ar e de

precipitação pluviométrica total mensal utilizados no cálculo foram obtidos da Estação Meteorológica Convencional do Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, Campus de Botucatu.

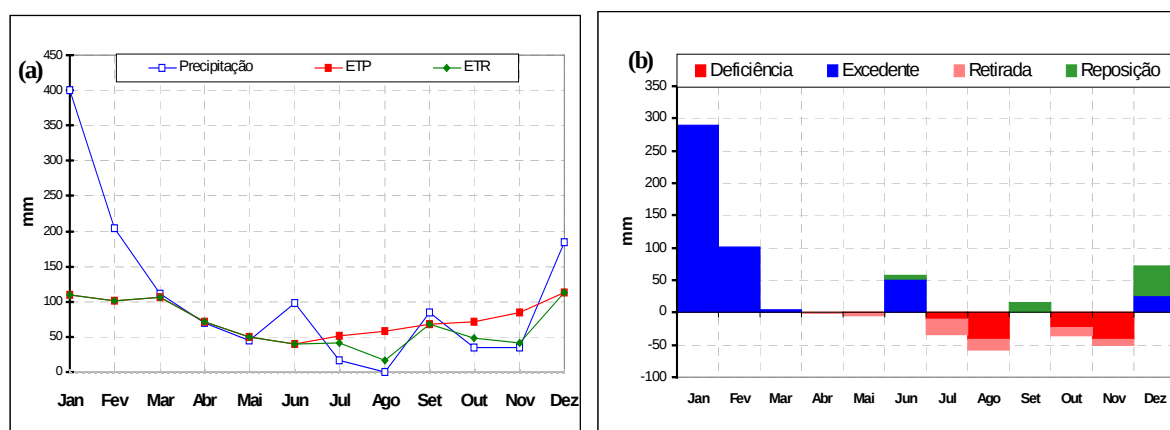


Figura 4 - Balanço hídrico mensal do ano de 1999 (a) e a deficiência, o excedente, a retirada e a reposição hídrica ao longo do ano de 1999 (b).

### 3.8 Condução do experimento

#### 3.8.1 Preparo do solo

O preparo do solo foi realizado mediante a recomendação de adubação feita à partir da análise química de solo. Os canteiros foram preparados manualmente através do revolvimento com enxada 10 dias antes do transplântio, incorporando-se os adubos numa profundidade de 25 a 30 cm. Os adubos incorporados no canteiros foram  $3,0 \text{ kg.m}^{-2}$  de esterco bovino decomposto,  $2,0 \text{ kg.m}^{-2}$  de composto orgânico humificado,  $100 \text{ g.m}^{-2}$  da fórmula 04-14-08, e  $150 \text{ g.m}^{-2}$  por planta de termofosfato Yoorin BZ.

#### 3.8.2 Preparo e transplântio das mudas

O preparo das mudas de pimentão foi feito na Fazenda Experimental de São Manuel em 18/03/99, as quais foram preparadas em bandejas de poliestireno expandido com 128 células, semeando-se 2 sementes por célula, utilizando-se de solo de mata como substrato. Foram utilizadas 9 bandejas para a obtenção de um bom número de plantas e para ter uma reserva de mudas num eventual retransplântio. As mesmas foram colocadas sob

ambiente protegido e foram irrigadas todos os dias. Ao longo do crescimento dessas mudas, elas receberam a aplicação de Ridomil+Mancozeb (3g / 1L H<sub>2</sub>O), de Decis (0,3L / 1L H<sub>2</sub>O) e de uréia (1g / 1L H<sub>2</sub>O), para o controle de podridão de raiz, de pragas aéreas e para suprir deficiência de nitrogênio, respectivamente.

O transplantio ocorreu aos 33 dias após a semeadura, em 20/04/99 nas condições de ambiente protegido e de campo, com uma planta por cova, selecionando-se as mudas mais vigorosas. O espaçamento foi de 0,30 m na linha por 1,00 m de canteiro, constituindo de 3 canteiros de 1,00 m de largura por 36,00 m de comprimento, com apenas uma linha de cultura por canteiro, representando um total de 120 plantas por canteiro, totalizando 360 plantas na área do ambiente protegido e 360 plantas em condições de campo. A distância entre os cultivos foi de 15 metros.

Após efetuado o transplantio, aplicou-se Ridomil+Mancozeb na dose de 3g/1L de H<sub>2</sub>O, para evitar a podridão de raiz (*Phytophthora capsici*).

Neste estágio, as irrigações foram diárias e mantidas na capacidade de campo, de modo a propiciar um bom pegamento das mudas. As mudas que por ventura tiveram algum problema, ou por estarem mal desenvolvidas ou mortas, foram substituídas pelas mudas reservas.

Quinze dias após o transplantio das mudas, foi detectado o enrolamento e necrose da borda das folhas, indicando toxidez devido ao excesso de sais no solo, nos dois cultivos, sendo que no cultivo protegido o sintoma foi mais intenso, como constava na análise química do solo (item 3.3 – Quadro 1). Foi então necessário a aplicação de uma lâmina d'água em excesso para lixiviar os sais, durante o período de quinze dias e de forma intermitente, conseguindo-se assim evitar a morte de 70% das plantas, sendo o restante replantado com as mudas reserva.

### **3.8.3 Adubação de cobertura**

A adubação de cobertura foi efetuada mediante a recomendação de adubação, aplicando-se 8,0 g por planta de nitrocálcio a partir dos 20 dias após o transplantio, repetindo-se por mais 4 vezes com um intervalo de 20 dias entre cada aplicação.

### 3.8.4 Controle de plantas daninhas

O controle de plantas daninhas foi feito por capinas manuais. Foram 6 capinas durante todo o ciclo da cultura de pimentão.

### 3.8.5 Controle de pragas e doenças

Tanto o controle de pragas quanto o de doenças foi efetuado mediante exame visual do agente, inseto ou patógeno, e de acordo com recomendações técnicas do produto químico em questão, para os dois cultivos, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – Controle fitossanitário efetuado durante o ciclo da cultura de pimentão, de acordo com recomendações técnicas do produto químico, para os dois cultivos.

| Data     | Praga ou Doença              | Nome científico                | Produto                  | Dosagem                      |
|----------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 20/04/99 | Podridão de raiz             | <i>Phytophthora capsici</i>    | Ridomil + Mancozeb       | 3g / 1L H <sub>2</sub> O     |
| 22/04/99 | Vaquinha                     | <i>Diabrotica speciosa</i>     | Decis                    | 0,3L / 1L H <sub>2</sub> O   |
| 10/05/99 | Vaquinha                     | <i>Diabrotica speciosa</i>     | Decis                    | 0,3L / 1L H <sub>2</sub> O   |
|          | Pulgão                       | <i>Myzus persicae</i>          |                          | 0,3L / 1L H <sub>2</sub> O   |
| 12/05/99 | Paquinha                     | <i>Neocurtilla hexadactyla</i> | Isca a base de Malathion |                              |
| 29/05/99 | Vaquinha                     | <i>Diabrotica speciosa</i>     | Stron                    | 0,01L / 1L H <sub>2</sub> O  |
| 07/06/99 | (Deficiência de Zn = frio)   | - -                            | Sulfato de Zinco         | 2,5g / 1L H <sub>2</sub> O   |
| 08/06/99 | (Requeima das folhas = frio) | <i>Phytophthora infestans</i>  | Ridomil + Mancozeb       | 3g / 1L H <sub>2</sub> O     |
| 28/06/99 | Vaquinha                     | <i>Diabrotica speciosa</i>     | Decis                    | 0,3L / 1L H <sub>2</sub> O   |
| 08/07/99 | Vaquinha                     | <i>Diabrotica speciosa</i>     | Decis                    | 0,3L / 1L H <sub>2</sub> O   |
| 17/07/99 | Vaquinha                     | <i>Diabrotica speciosa</i>     | Decis                    | 0,3L / 1L H <sub>2</sub> O   |
| 03/08/99 | Pulgão                       | <i>Myzus persicae</i>          | Decis                    | 0,3L / 1L H <sub>2</sub> O   |
|          | (Requeima das folhas = frio) | <i>Phytophthora infestans</i>  | Ridomil + Mancozeb       | 3g / 1L H <sub>2</sub> O     |
| 09/08/99 | Tripes                       | <i>Frankliniella schulzei</i>  | Stron                    | 0,01L / 1L H <sub>2</sub> O  |
| 18/08/99 | Tripes                       | <i>Frankliniella schulzei</i>  | Stron                    | 0,01L / 1L H <sub>2</sub> O  |
| 31/08/99 | Oidiopsis sícula             | <i>Leveillula taurica</i>      | Rubigan                  | 0,002L / 1L H <sub>2</sub> O |
| 07/09/99 | Oidiopsis sícula             | <i>Leveillula taurica</i>      | Rubigan                  | 0,002L / 1L H <sub>2</sub> O |
|          | Vaquinha                     | <i>Diabrotica speciosa</i>     | Decis                    | 0,3L / 1L H <sub>2</sub> O   |
| 23/09/99 | Oidiopsis sícula             | <i>Leveillula taurica</i>      | Rubigan                  | 0,002L / 1L H <sub>2</sub> O |
| 29/09/99 | Oidiopsis sícula             | <i>Leveillula taurica</i>      | Rubigan                  | 0,002L / 1L H <sub>2</sub> O |
|          | Tripes                       | <i>Frankliniella schulzei</i>  | Stron                    | 0,01L / 1L H <sub>2</sub> O  |
| 07/10/99 | Oidiopsis sícula             | <i>Leveillula taurica</i>      | Rubigan                  | 0,002L / 1L H <sub>2</sub> O |
| 21/10/99 | Oidiopsis sícula             | <i>Leveillula taurica</i>      | Rubigan                  | 0,002L / 1L H <sub>2</sub> O |

### 3.8.6 Condução e tutoramento das plantas

As plantas foram conduzidas com 3 hastes, à partir da primeira bifurcação, e a partir daí foram feitas as desbrotas semanalmente, para a condução destes três ramos apenas.

As plantas foram tutoradas individualmente em fitilhos esticados nos bambús ao longo do canteiro, utilizando-se de um cintador Max modelo HT-B, de maneira a evitar o tombamento das mesmas e a quebra das hastes, devido ao peso dos frutos. Os bambús tinham 2,00 m de altura e foram fixados em arame esticado, preso em mourões de 2,50 m nas extremidades dos canteiros, a cada 1,00 m no canteiro com inclinação formando um “V” (Figura 5), de maneira que uma planta seria sustentada do lado esquerdo, enquanto que a planta seguinte seria sustentada do lado oposto (direito), seguindo assim uma seqüência em “V”. À medida que as plantas cresciam, esticavam-se mais fitilhos nos bambús ao longo do canteiro.



Figura 5 - Fotografia ilustrando o sistema de tutoramento no cultivo protegido – cultivo em “V” (Foto: Cunha, A.R., em 01/10/99).

### 3.8.7 Colheita

A colheita dos frutos foi individualizada para as 12 plantas marcadas da área experimental, sendo 6 em cultivo protegido e 6 em cultivo de campo, e feitas semanalmente quando os frutos atingiram em torno de 60% da coloração vermelha, tendo início da colheita em 07/09/99 e término em 03/11/99, num total de 9 semanas. Logo após a colheita dos frutos, estes eram encaminhados ao laboratório para as análises de produção e classificação dos frutos.

### 3.9 Características de crescimento da cultura de pimentão

Foram marcadas 28 plantas no cultivo protegido e 28 plantas no cultivo de campo. Quatro plantas eram extraídas da área experimental a cada 15 dias, sendo 2 do cultivo protegido e 2 do cultivo de campo, tendo início a coleta para essas análises em 20/04/99, momento do transplante. Essas análises constaram da altura, do número de folhas, da área foliar, do índice de área foliar das plantas e da matéria seca da planta (folhas, caule, ramos e raiz), sendo os resultados originados da média das 2 plantas para cada cultivo.

A altura das plantas foi medida individualmente através de uma régua graduada em centímetros, sendo feita a partir da superfície do solo até o ápice da planta, obtendo-se as medidas em cm. O número de folhas foi feito através da contagem manual das mesmas.

A área foliar foi feita através de um medidor de foliar modelo CI 202 (USA), em todas as folhas de cada uma das plantas, obtendo-se as medidas em cm<sup>2</sup>.

O índice de área foliar é adimensional e foi determinado através da relação entre a área foliar (cm<sup>2</sup>) e a área de solo disponível para a planta (cm<sup>2</sup>), definida como sendo o espaçamento da cultura; obtendo-se um valor em 1m<sup>2</sup> de área do terreno, pois em 1m<sup>2</sup> do terreno continha 3,33 plantas, utilizando-se da seguinte expressão:

$$IAF = \frac{(AF)3,33}{3000} \quad (2)$$

A matéria seca da planta foi obtida após os folhas, caule, ramos e raiz serem levados a uma estufa aerada à 100°C por 48 horas para secagem, e posteriormente pesados em balança BEL modelo 8040 com precisão de 2 casas.

### **3.10 Características de produção da cultura de pimentão**

Foram marcadas 6 plantas no cultivo protegido e 6 plantas no cultivo de campo. As plantas foram analisadas a partir do início da colheita, em 07/09/99, e a partir daí feitas semanalmente até o final do ciclo em 03/11/99. Foram feitas as seguintes análises: número de frutos, peso da matéria fresca dos frutos, peso da matéria seca dos frutos, comprimento dos frutos, diâmetro dos frutos, espessura da polpa dos frutos; classificando-se posteriormente os frutos através de um programa Horti & Fruti Padrão (São Paulo, 1998). Os resultados encontrados correspondem à média das 6 plantas para cada cultivo.

A contagem do número de frutos foi feita no momento da colheita de forma manual.

O peso da matéria fresca dos frutos foi feito pesando-se cada um deles imediatamente após colhidos, em balança BEL modelo 8040 com precisão de 2 casas.

O peso da matéria seca dos frutos foi obtido após os frutos serem levados a uma estufa aerada à 100°C por 48 horas para secagem, e posteriormente pesados em balança BEL modelo 8040 com precisão de 2 casas.

O comprimento dos frutos foi obtido através de uma régua graduada em centímetros, obtendo-se as medidas em cm.

O diâmetro e a espessura da polpa dos frutos foi obtido através de um paquímetro metálico marca KWK graduado em centímetros, obtendo-se as medidas em cm.

#### **3.10.1 Classificação dos frutos (São Paulo, 1998)**

A classificação dos frutos é uma separação do fruto por formato, cor, tamanho e categoria, permitindo a unificação de linguagem de mercado com relação ao fruto do pimentão. A identificação da qualidade é feita pela caracterização e quantificação dos defeitos graves e leves.

A classificação dos frutos foi feita a partir das medidas de comprimento e diâmetro dos mesmos, as quais fornecem a classe e a sub-classe,

respectivamente. Fez-se também a identificação do formato e da coloração dos frutos, as quais fornecem o grupo e o sub-grupo, respectivamente.

A categoria do fruto de pimentão obedece os limites de tolerância de defeitos graves e leves para cada categoria de qualidade, permitindo a classificação em Extra, Categoria I, Categoria II e Categoria III, conforme Quadro 4.

Quadro 4 - Limites de tolerância de defeitos graves e leves para cada categoria de qualidade de frutos de pimentão (São Paulo, 1998).

| Defeitos graves      | Extra  | Categoria I | Categoria II | Categoria III |
|----------------------|--------|-------------|--------------|---------------|
| Podridão             | até 0% | até 1%      | até 1%       | até 3%        |
| Murcho               | até 1% | até 2%      | até 3%       | até 3%        |
| Queimado             | até 1% | até 1%      | até 2%       | até 2%        |
| Dano não-cicatrizado | até 1% | até 1%      | até 2%       | até 2%        |
| Total graves         | até 1% | até 3%      | até 5%       | até 10%       |
| Total leves          | até 5% | até 10%     | até 15%      | 100%          |
| Total geral          | até 5% | até 10%     | até 15%      | até 100%      |

### 3.10.2 Peso médio dos frutos

O peso médio dos frutos foi obtido somando-se o peso da matéria fresca de todos os frutos colhidos semanalmente (9 semanas) e dividindo-se pelo número total de frutos analisados, obtendo-se assim um peso médio de frutos para cada cultivo, protegido e de campo.

### 3.10.3 Produção por planta

A produção de frutos por planta foi determinada multiplicando-se o número médio de frutos por planta pelo peso médio dos frutos (g) e dividindo-se por 1000 para a obtenção em kg/planta.

### 3.10.4 Produtividade

A partir da produção por planta, em kg/planta, foi possível determinar a produtividade em kg/m<sup>2</sup> para os dois cultivos, através da seguinte expressão:

$$Produtividade = (kg / planta) \cdot 3,33 \quad (3)$$

### 3.11 Parâmetros agrometeorológicos da cultura de pimentão

#### 3.11.1 Componentes da radiação solar

As especificações dos sensores dos componentes global, difusa e refletida, do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo utilizados na área experimental para o monitoramento, tanto para as condições de cultivo protegido e de campo, encontram-se no Quadro 5 com suas respectivas constantes de calibração.

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

| Componentes da<br>Radiação solar | Constante de calibração                   |                                           |
|----------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                                  | Cultivo protegido                         | Cultivo de campo                          |
| Global                           | 16,965 $\mu\text{V.m}^2.\text{W}^{-1(1)}$ | 8,130 $\mu\text{V.m}^2.\text{W}^{-1(3)}$  |
| Difusa                           | 17,968 $\mu\text{V.m}^2.\text{W}^{-1(1)}$ | 8,170 $\mu\text{V.m}^2.\text{W}^{-1(3)}$  |
| Refletida                        | 17,183 $\mu\text{V.m}^2.\text{W}^{-1(1)}$ | 14,437 $\mu\text{V.m}^2.\text{W}^{-1(3)}$ |
| Saldo de radiação                | 9,14 $\text{W.m}^{-2}.\text{mV}^{-1(2)}$  | 13,5 $\text{W.m}^{-2}.\text{mV}^{-1(2)}$  |
| Fluxo de calor no solo           | 35,8 $\text{W.m}^{-2}.\text{mV}^{-1(2)}$  | 36,2 $\text{W.m}^{-2}.\text{mV}^{-1(2)}$  |

<sup>(1)</sup> Equipamentos montados e calibrados no Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciências Ambientais - FCA/UNESP

<sup>(2)</sup> Fabricante REBS

<sup>(3)</sup> Fabricante EPPLEY

Os sensores protótipos dos componentes de radiação solar foram montados e calibrados no Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciências Ambientais, utilizando-se da seguinte expressão:

$$k_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{S_p}{S_s} k_{EPPLEY} \quad (4)$$

onde:  $k_p$  é a sensibilidade do protótipo;  $S_s$  o sinal do sensor de referência Eppley (mV);  $S_p$  o sinal do sensor protótipo (mV);  $k_{EPPLEY}$  a sensibilidade do sensor de referência; e  $n$  o número de observações.

A radiação solar global ( $R_g$ ) corresponde à fração da radiação que chega na superfície do solo, já atenuada pela atmosfera, representada pela soma da radiação

direta mais a radiação difusa. A sua medida foi feita com 2 piranômetros voltados para cima, um para o cultivo protegido e outro para o cultivo de campo, instalados a 2 metros de altura.

A radiação difusa ( $R_d$ ) medida corresponde à fração difundida pela atmosfera. As medidas de irradiância difusa em condições de cultivo protegido e de campo foram obtidas utilizando-se de um anel de sombreamento sobre um piranômetro voltado para cima, sendo utilizados 2 piranômetros e 2 anéis, um para o cultivo protegido e outro para o cultivo de campo, instalados a 2 metros de altura. A função do anel é a de barrar a radiação solar direta sobre o sensor e com pequena parte da difusa interceptada; apresentando 0,40 m de raio e 0,10 m de largura, sendo essas medidas corrigidas em função de um fator de correção (C), o qual é função das dimensões do anel (raio e largura), da latitude do local, da declinação solar e do ângulo horário no por do sol (Melo, 1993).

A radiação refletida ( $R_r$ ) corresponde à fração da radiação que é difundida pela atmosfera mais a fração que é refletida pelo solo, pelas nuvens e pelas plantas. A sua medida foi feita com 2 piranômetros voltados para baixo, um para o cultivo protegido e outro para o cultivo de campo, instalados a 2 metros de altura.

O saldo de radiação ( $R_n$ ) representa a quantidade de energia disponível na superfície de um sistema, neste caso a cultura do pimentão, e que vai ser usada nos processos de evapotranspiração e aquecimento do ar e do solo. É a soma algébrica dos fluxos de energia eletromagnética (radiação) que ocorrem na superfície de um sistema, ou seja, a diferença entre os fluxos totais da radiação incidente e a refletida pela superfície da cultura. Ocorrem 2 fluxos de radiação dirigidos da atmosfera para a superfície, sendo um da forma de ondas curtas, a radiação solar global ( $R_g$ ), e o outro na forma de ondas longas, chamado de contra-irradiação atmosférica ( $E_a$ ). Partindo da superfície em direção à atmosfera, também ocorrem 2 fluxos, um na forma de ondas curtas, a radiação refletida ( $R_r$ ), e o outro na forma de ondas longas, a emissão da superfície ( $E_s$ ), conforme a Figura 6.

Durante o dia, nas horas de brilho solar, o saldo de radiação ( $R_n$ ) é positivo devido ao fluxo incidente global ( $R_g$ ), e durante à noite o saldo de radiação é negativo, momento em que o fluxo incidente passa a ser somente atmosférico ( $E_a$ ), e a energia emitida pela superfície ( $E_s$ ) é superior a este, resultando num saldo de radiação ( $R_n$ )

negativo. A medida do saldo de radiação foi feita com 2 saldos radiômetros modelo Q7.1 (REBS), instalados a 2 m de altura, um para o cultivo protegido e outro para o cultivo de campo.

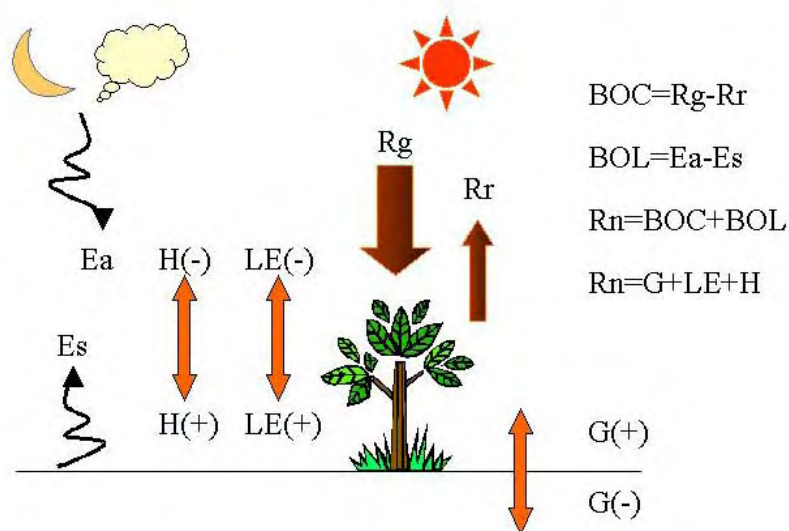


Figura 6 – Esquema representativo do balanço de radiação de ondas curtas (BOC) e longas (BOL).

O fluxo de calor no solo ( $G$ ), representado pela fração do saldo de radiação que foi transmitida para o interior do solo, é dependente da  $R_g$  do temperatura do solo e da sua condutividade térmica, sendo importante a sua quantificação em estudos de balanço de energia, pois representa a entrada/saída de energia desse sistema (cultura de pimentão), podendo ou não contribuir para os fluxos de calor latente ( $LE$ ) e sensível ( $H$ ). O fluxo de calor no solo foi considerado negativo no período diurno e positivo no noturno, sendo negativo quando que esse calor caminha em direção ao interior do solo, e positivo quando caminha em direção ao sistema. A medida do fluxo de calor no solo foi feita com 2 fluxímetros modelo HFT-3 (REBS), instalados a 0,02 m de profundidade da superfície do solo e próximos a linha de plantio da cultura, um para o cultivo protegido e outro para o cultivo de campo. O  $LE$  quando negativo representa o calor utilizado na mudança de fase da água da fase líquida para gasosa, e positivo quando ocorre a condensação no sistema. O  $H$  quando negativo representa o calor utilizado pelo sistema para o aquecimento do ar atmosférico, e positivo quando a atmosfera está mais aquecida que o sistema.

### 3.11.2 Coleta dos dados agrometeorológicos

A coleta desses dados foi realizada em condições de cultivo protegido e de campo para a cultura de pimentão, conforme Figura 7, utilizando-se de um Micrologger 21X acoplado a um Relay Multiplex AM416 da Campbell Scientific, Inc. (1984-96), para a expansão do número de entradas para a conexão dos sensores. Os sensores instalados nos cultivos protegido e de campo na cultura de pimentão, os quais monitoraram a radiação global, difusa e refletida (piranômetros), o saldo de radiação (saldo radiômetro), o fluxo de calor no solo (fluxímetro), temperatura e umidade relativa do ar (resistivo-capacitivo), temperatura e umidade do solo (termistor), temperaturas do ar de bulbos seco e úmido (psicrômetros de termopar com ventilação natural) e velocidade do vento (sinal de pulso) foram conectados a um sistema de aquisição automática, um Micrologger 21X (Campbell Scientific, Inc., 1984-96). Os sinais gerados e enviados pelos sensores ao Micrologger 21X foram lidos em intervalo de tempo pré-estabelecido na programação, a cada 5 segundos.

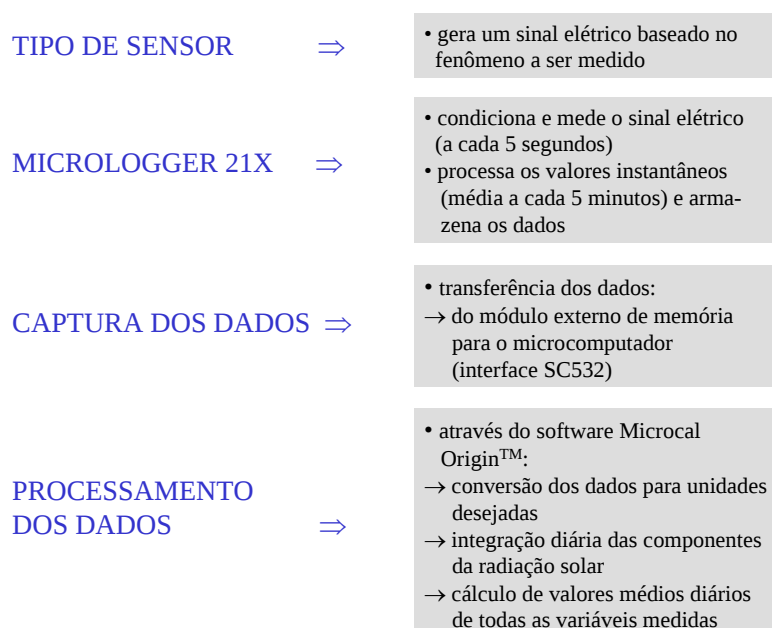


Figura 7 - Esquema representativo do sistema de coleta e tratamento preliminar dos dados da cultura de pimentão.

Através do software PC208W para ambiente Windows, que acompanha o Micrologger 21X, foi possível efetuar a programação para a leitura de todos sensores conectados ao sistema, com instruções específicas para cada tipo de sensor utilizado, via um editor específico com compilação (Apêndice 1).

Os dados chegavam à memória de entrada do Micrologger 21X a cada 5 segundos, sendo posteriormente armazenados na memória intermediária as 60 leituras, para que depois fosse processada a média dessas leituras e enviadas para a memória final, a cada 5 minutos, sendo esses dados enviados ao módulo externo de memória modelo SM192 acoplado ao Micrologger 21X. Após esses dados eram descarregados desse módulo de memória, via software PC208W, a cada 2 dias, e transferidos via interface modelo SC532, para que não completasse o preenchimento total de sua memória, não havendo assim riscos de perda de dados devido a sobreposição e também para um controle de qualidade dos mesmos.

Devido ao problema constante de recalibração dos instrumentos que medem as componentes da radiação solar, optou-se em não fazer a conversão para a unidade desejada via Micrologger 21X. A conversão dos dados instantâneos na unidade desejada ( $\text{W.m}^{-2}$ ) foi feita no Microcal Origin<sup>TM</sup> (Microcal Software, Inc., 1999), devido ao monitoramento de muitos sensores com uma mesma instrução (repetições) ao mesmo tempo pelo Micrologger 21X, sendo que o seu software permite essa conversão, mas exigiria uma instrução para cada sensor, apresentando desvantagens na operacionalização e instalação dos sensores, pois cada sensor dos componentes de radiação solar apresenta um fator de calibração diferente. Os valores das irradiâncias foram integrados para se chegar aos valores diários de energia em  $\text{MJ.m}^{-2}$ , do horário do nascer ao pôr-do-sol para as componentes global, difusa e refletida, e feita antes do nascer e após o pôr-do-sol, para o saldo de radiação e fluxo de calor no solo.

O padrão de comunicação para esses dados de radiação é o ASCII (American Standard Code for Information Interchange) delimitado por vírgulas (","), sendo que o separador decimal é o ponto. Desta forma, o arquivo ASCII apresenta-se com colunas correspondendo aos valores oriundos dos aparelhos, a média de 60 leituras a cada 5 minutos. Na Figura 8 mostramos um exemplo de arquivo ASCII com extensão DAT gerado pelo Micrologger 21X, sendo apresentado como valores introdutórios, um código identificador de

dados na linha (100), o ano (1999), o dia juliano (282), a hora e minutos (630), e na sequência os dados correspondendo à cada sensor em ordem pré-estabelecida pela programação na saída dos dados.

Antes da importação desse arquivo ASCII pelo Microcal Origin™, o mesmo foi manipulado num editor de texto, o edit (DOS) para individualizar os dias do período estudado. A confecção das curvas diárias dos valores instantâneos em  $W.m^{-2}$  da radiação global, difusa e refletida, do saldo de radiação, e dos fluxos de calor no solo, sensível e latente, e a integralização dos seus valores ao longo do dia em  $MJ.m^{-2}$ , para ambos os cultivos, foi efetuada através de um programa confeccionado no software Microcal Origin™ (Apêndice 2).

```
100,1999,282,630,16.32,70.7,16.9,69.84,22.61,22.29,23.29,19.88,21.86,0.037,0.014,15.19,13.37,16.6,13.45,15.37,13.49,13.85,12.49,14.84,10.6,14.1,11.57,1.108,1.933,-1.563,0.538,1.013,0.202,0.662,0.524
100,1999,282,635,16.48,70.3,17.22,68.6,22.6,22.35,23.28,19.84,21.87,0.037,0.014,15.33,13.47,16.66,13.17,15.57,13.6,13.72,12.42,14.77,10.44,14.02,11.4,1.324,3.26,-0.262,0.493,0.852,0.208,0.687,0.571
100,1999,282,640,16.6,70.2,17.6,67.4,22.58,22.34,23.29,19.85,21.85,0.037,0.014,15.49,13.64,16.72,13.01,15.71,13.72,13.39,12.25,14.57,10.06,13.81,11.13,1.522,4.634,1.048,0.45,0.654,0.256,0.704,0.626
100,1999,282,645,16.74,68.77,18.01,66.02,22.62,22.34,23.32,19.81,21.82,0.037,0.014,15.45,13.71,16.74,12.91,15.79,13.84,13.27,12.09,14.6,9.86,13.7,10.88,1.748,7.27,2.293,0.394,0.451,0.275,0.746,0.686
100,1999,282,650,16.86,68.18,18.19,64.3,22.56,22.27,23.3,19.79,21.81,0.037,0.014,15.29,13.46,16.59,12.47,15.6,13.5,13.2,11.98,14.6,9.85,13.65,10.67,1.992,7.99,3.572,0.315,0.271,0.279,0.756,0.741
100,1999,282,655,16.93,67.85,18.36,63.73,22.5,22.25,23.22,19.73,21.77,0.037,0.014,15.17,13.33,16.63,12.39,15.68,13.47,13.01,11.75,14.49,9.76,13.58,10.37,2.211,9.32,4.977,0.237,0.092,0.323,0.762,0.783
100,1999,282,700,17.01,67.04,18.52,62.81,22.48,22.23,23.22,19.72,21.74,0.037,0.014,16.1,13.8,16.49,12.33,15.62,13.46,13.1,11.7,14.58,9.88,13.69,10.36,2.463,11.02,6.275,0.156,-0.008,0.343,0.789,0.831
```

Figura 8 – Arquivo ASCII contendo dados oriundos de um Micrologger 21X.

### 3.11.3 Coeficiente de reflexão (r)

O coeficiente de reflexão é a fração da radiação incidente refletida pela superfície em estudo, o qual é dependente do ângulo de incidência da radiação e do poder refletor da superfície e da constituição da superfície, apresentando, no caso de culturas que não

cobrem totalmente o solo, valores mais próximos de zero, devido a grande influência do solo nessas medidas. É dada pela expressão:

$$r = \frac{Rr}{Rg} 100 \quad (5)$$

onde:  $r$  é o coeficiente de reflexão da superfície em %;  $Rr$  a radiação refletida pela superfície em  $W.m^{-2}$ ;  $Rg$  a radiação solar global em  $W.m^{-2}$ .

#### 3.11.4 Transmissividade da cobertura (T)

A transmissividade de um meio ou material é definida como sendo a relação entre a energia total incidente em um sistema e a energia total emergente ou transmitida. Através da expressão (6) foi determinada a transmissividade à radiação solar global para o PEBD claro:

$$T = \frac{Rg_{pt}}{Rg_{ca}} 100 \quad (6)$$

onde:  $T$  é a transmissividade em %;  $Rg_{pt}$  a radiação solar global transmitida no ambiente protegido em  $W.m^{-2}$ ; e  $Rg_{ca}$  a radiação solar global incidente em condições de campo em  $W.m^{-2}$ .

#### 3.11.5 Balanço de energia de uma superfície

O balanço de energia foi determinado através da razão de Bowen (1926), sendo a equação geral do balanço de energia descrita da seguinte forma:

$$Rn - G - H - LE \cong 0, \text{ ou seja: } Rn = G + H + LE \quad (7)$$

onde:  $Rn$  é o saldo de radiação sobre a superfície;  $H$  é o fluxo convectivo de calor sensível;  $LE$  é o fluxo convectivo de calor latente; e  $G$  é o fluxo de calor no solo.

No cálculo do balanço de energia, os fluxos que chegavam ao sistema (cultura do pimentão) foram considerados positivos, e os que saíam negativos, sendo o ápice da cultura e a superfície do solo considerados os limites superior e inferior do sistema, respectivamente.

Utilizou-se da razão de Bowen para a estimativa dos valores de  $H$  e  $LE$ , através das medições de gradientes psicrométricos na cultura de pimentão, entre dois níveis, com uma distância de 0,50 m entre os psicrômetros de termopar (níveis), sendo o primeiro nível instalado a 1,00 m da superfície do solo e o segundo a 1,50 m, conforme as equações:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{1}{\left( \frac{s + \gamma}{\gamma} \right) \left( \frac{\Delta T_U}{\Delta T_S} \right) - 1} \quad (8)$$

$$LE = - \left( \frac{(Rn - G)}{(1 + \beta)} \right) \quad (9)$$

onde:

$\beta$  = razão de Bowen;

$s$  = tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água em função da temperatura do ar ( $\text{mmHg} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ), dada pela expressão:

$$s = 0,317 \cdot 10^{0,05979 \cdot T_s}; \quad (10)$$

onde  $T_s$  é a temperatura média do bulbo seco entre os dois níveis ( $^\circ\text{C}$ ).

$\gamma$  = coeficiente psicrométrico, sendo igual a  $0,544 \text{ mmHg} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ , para uma pressão atmosférica de 680 mmHg e uma constante psicrométrica de  $80 \cdot 10^{-5} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ;

$\Delta T_U$  = a diferença das leituras dos termopares úmidos instalados entre os dois níveis considerados;

$\Delta T_S$  = a diferença das leituras dos termopares secos instalados entre os dois níveis considerados.

Para efetuar estes cálculos do balanço de energia, foi desenvolvido um programa no software Microcal Origin™ (Apêndice 3), que confeccionou as curvas diárias dos valores instantâneos medidos ( $R_n$  e  $G$ ) e dos determinados ( $H$  e  $LE$ ), e posteriormente fez a integralização dos seus valores ao longo do dia em  $\text{MJ.m}^{-2}$ .

### 3.11.6 Balanço de ondas curtas (BOC)

A radiação solar global ( $R_g$ ), compreendida pelas radiações difusa e direta, está na faixa de 220 a 4000 nanômetros, denominada de radiação de ondas curtas. A parcela de radiação líquida disponível, que representa a contribuição da radiação solar, é denominado de radiação de ondas curtas, ou seja, balanço de ondas curtas (BOC), representado pela expressão:

$$BOC = R_g - R_r = R_g(1 - r) \quad (11)$$

onde:  $BOC$  é o balanço de ondas curtas em  $\text{W.m}^{-2}$ ;  $R_g$  a radiação solar global em  $\text{W.m}^{-2}$ ;  $r$  o coeficiente de reflexão da superfície;  $R_r$  a radiação solar refletida.

### 3.11.7 Balanço de ondas longas (BOL)

O balanço de radiação de ondas longas foi obtido através da expressão:

$$BOL = BOC - R_n \quad (12)$$

onde:  $BOL$  é o balanço de ondas longas em  $\text{W.m}^{-2}$ ;  $BOC$  o balanço de ondas curtas em  $\text{W.m}^{-2}$ ; e  $R_n$  o saldo de radiação em  $\text{W.m}^{-2}$ .

O termo  $BOC$  é positivo, pois é consequência da radiação solar que alcança o sistema, e o termo  $BOL$  é negativo, pois significa a emissão do sistema. Durante o dia o  $BOC$  é maior que o  $BOL$ , sendo assim o  $R_n$  um valor positivo; e durante a noite o termo  $BOC$  é inexistente, igualando o  $R_n$  ao termo  $BOL$ .

### 3.11.8 Temperatura e umidade relativa do ar

#### 3.11.8.1 Termopares de cobre-constantan (Cu-Co)

No monitoramento da temperatura do ar através de termopares de Cu-Co de bulbos seco e úmido, para a utilização no balanço de energia, foram instalados 6 conjuntos psicrométricos, sendo 3 instalados em cultivo protegido e 3 em cultivo de campo, utilizando-se como temperatura referência um sensor modelo HMP45C (Vaisala) a 2 m, sendo um instalado no cultivo protegido e outro em cultivo de campo.

Esses conjuntos psicrométricos foram introduzidos em microabrigos confeccionados em acrílico com boa aeração natural e protegido contra radiação direta e parte da difusa, conforme a Figura 9. Esses microabrigos foram fixados em cano de PVC de ½” e apoiados numa barra de cano de aço galvanizado de 2” introduzida perpendicularmente ao canteiro, permitindo assim obter medidas psicrométricas desde 1 até 2 metros de altura dos sensores de termopar, ou seja, das temperaturas de bulbos seco e úmido acima do dossel da cultura.

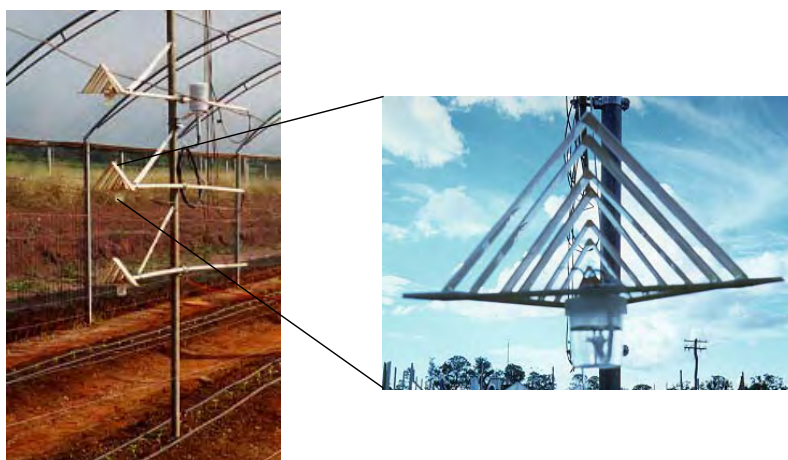


Figura 9 - Conjunto de microabrigos psicrométricos instalados na área experimental (Foto: Cunha, A.R., em 22/04/99).

O conjunto de microabrigos de acrílico foram instalados equidistantes um do outro, em três níveis, com uma distância de 0,50 m entre eles, sendo o primeiro instalado à 1,00 m de altura em relação a superfície do solo, o segundo a 1,5 m e o terceiro a 2,0 m de altura, tendo o terceiro nível a mesma altura do sensor modelo HMP45C (Vaisala) para a comparação das medidas; e contidos no interior desse conjunto de microabrigos de

acrílico, os conjuntos psicrométricos de termopar de Cu-Co com diâmetro dos fios de 0,1mm (Figura 9).

Através dos termopares de Cu-Co de bulbos seco e úmido foi possível a obtenção, através de relações psicrométricas, os valores de umidade relativa do ar:

$$UR = \frac{e_a}{e_s} 100 \quad (14)$$

onde:  $e_a = e_{su} - AP(t_s - t_u); e$  (15)

$$e_{su} = 4,58.10^{\left(\frac{7,5.t_u}{237,3+t_u}\right)} \quad (16)$$

$$e_s = 4,58.10^{\left(\frac{7,5.t_s}{237,3+t_s}\right)} \quad (17)$$

sendo que  $UR$  é a umidade relativa do ar em %;  $e_a$  a pressão parcial de vapor d'água em mmHg;  $e_s$  a pressão de saturação de vapor d'água à temperatura de bulbo seco em mmHg;  $e_{su}$  a pressão de saturação de vapor d'água à temperatura de bulbo úmido em mmHg;  $A$  a constante psicrométrica para junção com ventilação natural ( $80.10^{-5}.^{\circ}\text{C}^{-1}$ );  $P$  a pressão atmosférica do local (680 mmHg);  $t_s$  a temperatura do termopar de bulbo seco em  $^{\circ}\text{C}$ ; e  $t_u$  a temperatura do termopar de bulbo úmido em  $^{\circ}\text{C}$ .

Após a construção dos termopares de Cu-Co, estes foram submetidos a testes de  $0^{\circ}\text{C}$  e  $100^{\circ}\text{C}$ , ou seja, para os pontos de gelo fundente e água em ebulição, respectivamente. Os valores obtidos foram em média de  $+0,3^{\circ}\text{C}$  e  $99,8^{\circ}\text{C}$ , para o pontos de gelo fundente e água em ebulição, respectivamente.

### 3.11.8.2 Sensor modelo HMP45C (Vaisala)

Foram instalados dois sensores modelo HMP45C (Vaisala), um no cultivo protegido e outro em cultivo de campo, sendo ambos usados como referência para os termopares utilizados para analisar o fluxo vertical no balanço de energia. Esses dois sensores forneceram as medidas de temperatura do ar em °C e de umidade relativa do ar em % do ar, a 2 metros de altura. O abrigo do sensor Vaisala possui abrigo para evitar chuva e radiação direta no sensor, mostrado também na Figura 9, no nível 3.

### 3.11.9 Temperatura do solo

A temperatura do solo foi monitorada por 4 sensores do modelo 107 (Campbell Scientific, Inc., 1984-96) instalados a 0,10 e 0,20 m de profundidade, sendo que 2 foram instalados em cultivo protegido e 2 em cultivo de campo, medidas em °C.

### 3.11.10 Velocidade do vento

Em cultivo protegido, a velocidade do vento foi monitorada por um sensor modelo 03101-5 (Campbell Scientific, Inc., 1984-96) instalado a 2 m de altura. Para o cultivo de campo, a velocidade foi obtida por um anemógrafo universal marca IH a 10,0 m de altura, resultando em valores de vento em km.hora<sup>-1</sup>, sendo após transformados em m.s<sup>-1</sup> e convertidos para a altura de 2 m, utilizando-se da seguinte relação (Pasquill, 1949):

$$\frac{V_n}{V_{10m}} = \left( \frac{Z_n}{Z_{10}} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (18)$$

onde:  $V_n$  é a velocidade do vento ao nível desejado;  $Z_n$  é altura na qual deseja-se converter a velocidade do vento.

Sendo  $n=2m$  e isolando-se  $V_n$  da equação acima, obtém-se a velocidade do vento a 2,0m de altura:

$$V_{2m} = V_{10m} 0,7946 \quad (19)$$

sendo:  $V_{2m}$  a velocidade do vento na altura de 2,0 m;  $V_{10m}$  a velocidade do vento na altura de 10,0 m.

#### **3.11.11 Correlações**

Foram feitas correlações entre as componentes da radiação solar, entre as componentes do balanço de energia, entre os conjuntos psicrométricos e o sensor de temperatura e umidade relativa do ar (Vaisala), e entre a velocidade do vento em condições de cultivo protegido e campo, utilizando-se de regressão linear simples, sendo que o grau desses ajustes foram medidos através do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e por meio dos coeficientes linear (a) e angular (b), os quais traduzem a exatidão, máxima quando  $a=0$  e  $b=1$ , e a precisão, máxima quando  $R^2$  tende a 1.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Características de crescimento, produção e produtividade da cultura de pimentão

A duração do ciclo da cultura de pimentão apresentou 195 dias após o transplântio (d.a.t.), definido pelo final da fase de produção plena (desenvolvimento reprodutivo). Os valores médios, média de 2 plantas, da matéria seca total (MST=folhas, caule, ramos, raízes e frutos) e do índice de área foliar (IAF) durante o ciclo da cultura podem ser encontrados nas Figuras 10(a) e 10(b), para os cultivos protegido e de campo, respectivamente.

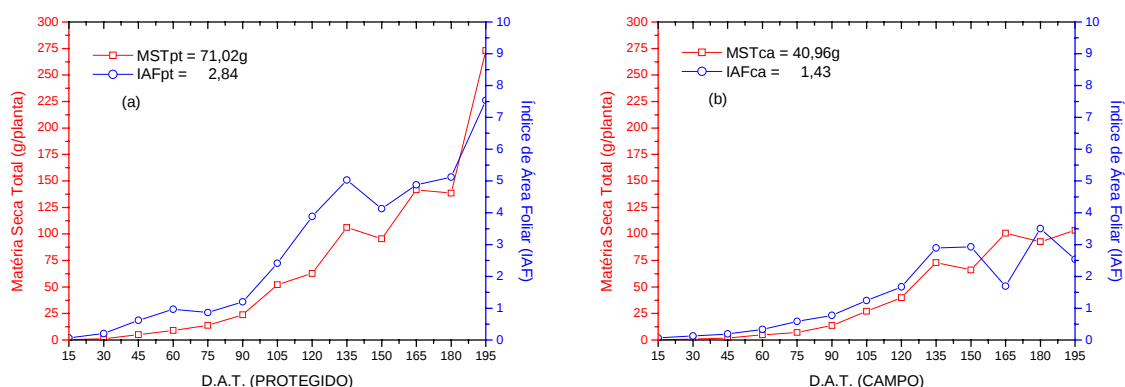


Figura 10 - Matéria seca total (MST) e índice de área foliar (IAF) durante o ciclo da cultura de pimentão, para as condições de cultivo protegido (a-pt) e de campo (b-ca).

Observa-se que houve uma grande diferença entre os dois cultivos, apresentando maior índice de área foliar o cultivo protegido, a partir dos 30 dias após o transplântio até o final do ciclo, o que é justificado pelo maior desenvolvimento da cultura e comprovado pela maior quantidade de matéria seca total nessa condição, a qual se comportou da mesma forma. Valores de índice de área foliar maiores indicam que o cultivo protegido apresentou um maior número de folhas e folhas de maior tamanho, contribuindo assim para esse aumento na matéria seca total.

As Figuras 11(a) e 11(b) apresentam os valores médios (6 plantas) da altura de plantas (ALT) e do número de folhas por planta ( $N^{\circ}F/Pl$ ) durante o ciclo da cultura, para os cultivos protegido e de campo.

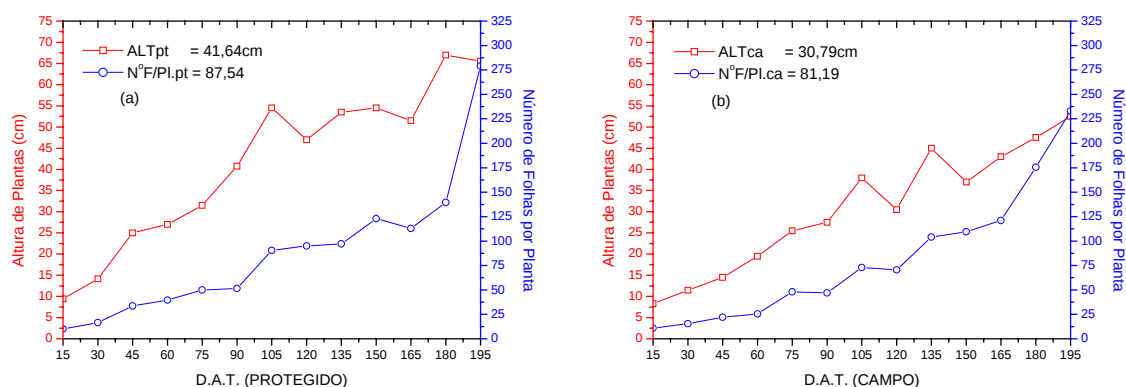


Figura 11 - Altura de plantas (ALT) e número de folhas por planta ( $N^{\circ}F/Pl$ ) durante o ciclo da cultura de pimentão, para as condições de cultivo protegido (a-pt) e de campo (b-ca).

A partir desses valores, é possível ver que os maiores valores de altura foram obtidos no cultivo protegido, com grande diferença logo a partir dos 30 dias após o transplântio, mantendo-se assim até o final do ciclo; sendo que valores maiores para o cultivo protegido foram também encontrados pelos autores Caixeta (1978), Teodoro (1986), Faria Junior (1997) e Santos et al. (1999). A altura de plantas de pimentão híbrido Elisa ficaram entre 80 e 90 cm para o ambiente protegido, conforme os autores Panelo (1995) e Tivelli (1999). Já o número de folhas por planta apresentou-se com pequena superioridade em relação ao cultivo de campo, demonstrando que o índice de área foliar teve maior parcela de contribuição para o seu aumento, devido a folhas de maior tamanho.

Obtiveram-se valores médios do número de frutos por planta, do peso dos frutos, do comprimento dos frutos, do diâmetro dos frutos, da espessura da polpa do fruto, da produção e da produtividade de 6 plantas, para as condições de cultivo protegido (Quadro 6) e de campo (Quadro 7).

Quadro 6 – Valores médios do número de frutos por planta, do peso dos frutos, do comprimento dos frutos, do diâmetro dos frutos, da espessura da polpa dos frutos, da produção e da produtividade (média de 6 plantas – cultivo protegido).

| Data        | Nº médio de frutos/planta | Peso médio dos frutos (g) | Comprimento médio dos frutos (cm) | Diâmetro médio dos frutos (cm) | Espessura média de polpa dos frutos (mm) | Produção (kg/planta) | Produtividade (kg/m <sup>2</sup> ) |
|-------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 07/09/99    | 1,50                      | 218,93                    | 11,38                             | 7,09                           | 7,50                                     | 0,33                 | 1,10                               |
| 14/09/99    | 2,70                      | 169,27                    | 10,38                             | 7,06                           | 7,70                                     | 0,46                 | 1,53                               |
| 21/09/99    | 1,00                      | 153,37                    | 7,57                              | 7,51                           | 7,20                                     | 0,15                 | 0,50                               |
| 28/09/99    | 1,50                      | 224,59                    | 12,75                             | 6,06                           | 8,00                                     | 0,34                 | 1,13                               |
| 04/10/99    | 2,00                      | 183,56                    | 12,17                             | 7,20                           | 6,40                                     | 0,37                 | 1,23                               |
| 13/10/99    | 3,20                      | 149,62                    | 10,95                             | 6,10                           | 5,70                                     | 0,48                 | 1,60                               |
| 19/10/99    | 2,00                      | 126,84                    | 10,48                             | 6,30                           | 4,80                                     | 0,25                 | 0,83                               |
| 26/10/99    | 1,00                      | 178,10                    | 10,25                             | 6,95                           | 5,10                                     | 0,18                 | 0,60                               |
| 03/11/99    | 3,00                      | 75,60                     | 7,05                              | 5,09                           | 4,50                                     | 0,23                 | 0,77                               |
| Total/Média | 17,90                     | 164,43                    | 10,33                             | 6,60                           | 6,30                                     | 2,78                 | 9,29                               |

Quadro 7 – Valores médios do número de frutos por planta, do peso dos frutos, do comprimento dos frutos, do diâmetro dos frutos, da espessura da polpa dos frutos, da produção e da produtividade (média de 6 plantas – cultivo de campo).

| Data        | Nº médio de frutos/planta | Peso médio dos frutos (g) | Comprimento médio dos frutos (cm) | Diâmetro médio dos frutos (cm) | Espessura média de polpa dos frutos (mm) | Produção (kg/planta) | Produtividade (kg/m <sup>2</sup> ) |
|-------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 07/09/99    | 2,00                      | 167,92                    | 10,73                             | 5,83                           | 6,60                                     | 0,34                 | 1,13                               |
| 14/09/99    | 1,80                      | 123,50                    | 10,80                             | 6,88                           | 7,70                                     | 0,22                 | 0,73                               |
| 21/09/99    | 1,30                      | 117,42                    | 9,30                              | 6,63                           | 6,80                                     | 0,15                 | 0,50                               |
| 28/09/99    | --                        | --                        | --                                | --                             | --                                       | --                   | --                                 |
| 04/10/99    | 1,00                      | 201,93                    | 12,24                             | 6,70                           | 7,30                                     | 0,20                 | 0,67                               |
| 13/10/99    | 1,00                      | 221,74                    | 12,00                             | 8,10                           | 6,60                                     | 0,22                 | 0,73                               |
| 19/10/99    | 3,00                      | 163,15                    | 11,00                             | 7,00                           | 6,00                                     | 0,49                 | 1,63                               |
| 26/10/99    | 1,00                      | 154,35                    | --                                | --                             | --                                       | 0,15                 | 0,50                               |
| 03/11/99    | 1,70                      | 137,08                    | 11,14                             | 5,53                           | 5,70                                     | 0,23                 | 0,77                               |
| Total/Média | 12,80                     | 160,89                    | 11,03                             | 6,67                           | 6,70                                     | 2,00                 | 6,66                               |

Nos quadros 6 e 7, estão contidos as 9 semanas de colheitas dos frutos de pimentão ao longo do ciclo da cultura para ambos os cultivos, notando-se uma diferença no número médio de frutos por planta e no peso médio dos frutos entre os dois cultivos. O número médio de frutos por planta e o peso médio dos frutos foram responsáveis pela maior produtividade do cultivo protegido (9,29kg.m<sup>-2</sup>), mostrando um aumento percentual de 39,49% em relação ao de campo (6,66kg.m<sup>-2</sup>), comprovado por Pedro & Vicente (1988) que relataram aumento de produtividade do pimentão utilizando-se de ambiente protegido, na

região de Almeria, Espanha, apresentando no interior do ambiente protegido uma produtividade de 30 a 40 t.ha<sup>-1</sup>, e em condições de campo de 15 a 20 t.ha<sup>-1</sup>; e também por Tivelli (1999) em São Manuel, SP, que obteve uma produtividade de 35t.ha<sup>-1</sup> para o híbrido Elisa.

Com relação aos valores médios de comprimento e diâmetro dos frutos e da espessura da polpa dos frutos, o cultivo de campo apresentou os maiores valores, sendo que essas diferenças não foram significativas em relação ao cultivo protegido. O valor médio obtido de 17,90 frutos por planta, com um peso de frutos de 164,43g e uma produção de 2,77kg por planta no cultivo protegido, podendo ser considerado uma alta produtividade, pois Panelo (1995) na Argentina, obteve em média em 2 meses de colheita 18,3 frutos por planta, com um peso de frutos de 150,0g e uma produção de 2,7kg por planta do híbrido Elisa, o que foi considerado uma alta produtividade.

A classificação dos frutos de pimentão híbrido Elisa por grupo, sub-grupo, classe, sub-classe e categoria está contida nos Quadros 8 e 9, para as condições de cultivo protegido e de campo, respectivamente, nas 9 semanas de colheitas dos frutos de pimentão ao longo do ciclo da cultura. Esta classificação permite a unificação de linguagem de mercado com relação ao fruto de pimentão.

Quadro 8 – Classificação dos frutos de pimentão híbrido Elisa por grupo, sub-grupo, classe, sub-classe e categoria (média de 6 plantas – cultivo protegido).

| Sub-classe e categoria (média de 5 plantas cultivadas protegidas). |         |           |        |           |        |            |            |                    |     |            |
|--------------------------------------------------------------------|---------|-----------|--------|-----------|--------|------------|------------|--------------------|-----|------------|
| Data                                                               | Retang. | Grupo (%) |        | Sub-Grupo | Classe | Sub-Classe | Defeitos   | Defeitos Leves (%) |     | Cate-goria |
|                                                                    |         | Quadrado  | Cônico |           |        |            | Graves (%) | DC                 | DEF |            |
|                                                                    |         |           |        |           |        |            | DNC        |                    |     |            |
| 07/09/99                                                           | 44,0    | 44,0      | 12,0   | Verm.     | 10     | 6          | 0,0        | 0,0                | 0,0 | Extra      |
| 14/09/99                                                           | 16,0    | 69,0      | 6,0    | Verm.     | 10     | 6          | 0,0        | 0,0                | 9,0 | I          |
| 21/09/99                                                           | 0,0     | 100,0     | 0,0    | Verm.     | 10     | 6          | 0,0        | 0,0                | 0,0 | Extra      |
| 28/09/99                                                           | 26,0    | 34,0      | 33,0   | Verm.     | 12     | 6          | 0,0        | 0,0                | 7,0 | I          |
| 04/10/99                                                           | 80,0    | 0,0       | 10,0   | Verm.     | 12     | 6          | 0,0        | 10,0               | 0,0 | I          |
| 13/10/99                                                           | 69,0    | 15,5      | 12,5   | Verm.     | 12     | 6          | 0,0        | 3,0                | 0,0 | Extra      |
| 19/10/99                                                           | 17,0    | 45,0      | 25,0   | Verm.     | 12     | 6          | 2,0        | 8,0                | 3,0 | II         |
| 26/10/99                                                           | 50,0    | 50,0      | 0,0    | Verm.     | 10     | 6          | 0,0        | 0,0                | 0,0 | Extra      |
| 03/11/99                                                           | 45,0    | 22,0      | 0,0    | Verm.     | 10     | 4          | 0,0        | 33,0               | 0,0 | III        |
| Média                                                              | 38,5    | 42,2      | 10,9   | Verm.     | 10,9   | 5,8        | 2,0        | 6,0                | 2,1 | Extra      |

Retang. = retangular; DNC = dano não cicatrizado; DC = dano cicatrizado; DEF = defeituoso; Verm. = vermelho.

Quadro 9 – Classificação dos frutos de pimentão híbrido Elisa por grupo, sub-grupo, classe, sub-classe e categoria (média de 6 plantas - cultivo de campo).

| Data     | Grupo (%) |          |        | Sub-Grupo | Classe | Sub-Classe | Defeitos Graves (%) |      |      | Defeitos Leves (%) |      | Categoria |
|----------|-----------|----------|--------|-----------|--------|------------|---------------------|------|------|--------------------|------|-----------|
|          | Retang.   | Quadrado | Cônico |           |        |            | M                   | Q    | DNC  | DC                 | DEF  |           |
| 07/09/99 | 17,0      | 33,0     | 17,0   | Verm.     | 10     | 4          | 0,0                 | 0,0  | 0,0  | 8,0                | 25,0 | III       |
| 14/09/99 | 18,0      | 18,0     | 9,0    | Verm.     | 10     | 6          | 0,0                 | 0,0  | 0,0  | 0,0                | 55,0 | III       |
| 21/09/99 | 0,0       | 75,0     | 0,0    | Verm.     | 8      | 6          | 0,0                 | 0,0  | 0,0  | 0,0                | 25,0 | III       |
| 28/09/99 | --        | --       | --     | --        | --     | --         | --                  | --   | --   | --                 | --   | --        |
| 04/10/99 | 34,0      | 0,0      | 33,0   | Verm.     | 12     | 6          | 0,0                 | 33,0 | 0,0  | 0,0                | 0,0  | III       |
| 13/10/99 | 34,0      | 0,0      | 0,0    | Verm.     | 12     | 8          | 33,0                | 0,0  | 33,0 | 0,0                | 0,0  | III       |
| 19/10/99 | 33,0      | 0,0      | 0,0    | Verm.     | 10     | 6          | 0,0                 | 34,0 | 33,0 | 0,0                | 0,0  | III       |
| 26/10/99 | --        | --       | --     | --        | --     | --         | 0,0                 | 0,0  | 0,0  | 100,0              | 0,0  | III       |
| 03/11/99 | 29,0      | 0,0      | 18,0   | Verm.     | 12     | 4          | 0,0                 | 7,0  | 0,0  | 46,0               | 0,0  | III       |
| Média    | 20,6      | 15,7     | 9,6    | Verm.     | 10,6   | 5,7        | 4,1                 | 9,2  | 8,2  | 19,2               | 13,1 | III       |

Retang. = retangular; M = murcho; Q = queimado; DNC = dano não cicatrizado; DC = dano cicatrizado; DEF = defeituoso; Verm. = vermelho.

A classe e sub-classe foram obtidas através das medidas de comprimento e diâmetro contidas nos Quadros 6 e 7, respectivamente, para os cultivos protegido e de campo. A classe e sub-classe tiveram seus maiores valores no cultivo protegido, com valores médios percentuais de 10,9% e 5,8%, respectivamente.

Os frutos que apresentaram defeitos graves ou leves, não foram identificados na sua classe, sub-classe, grupo e sub-grupo, pois estes não permitiram tal classificação devido aos defeitos. O cultivo protegido foi o que apresentou as menores percentagens de defeitos graves e/ou leves, com 2,0% de defeitos graves e 8,1% de leves, enquanto que para o cultivo de campo a ocorrência foi de 21,5% de defeitos graves e 32,3% de leves. Com isto foi possível a classificação à nível de categoria, obedecendo os limites de tolerância de defeitos graves e leves apresentados na metodologia (item 3.10.1). Conseqüentemente, a nível de categoria, o cultivo protegido foi o melhor, pois devido aos menores valores percentuais de defeitos graves e leves, conseguiu atingir na maioria das colheitas a categoria Extra.

É portanto, importante a padronização de linguagem com relação à produção, pois é difícil a comparação dos resultados dos trabalhos que até então estavam sendo desenvolvidos devido a falta dessa padronização, surgindo então a necessidade de efetuar a classificação dos frutos, além da obtenção da produtividade de frutos, segundo Fontes (1997).

#### **4.2 Relação entre saldo de radiação, crescimento e produtividade da cultura de pimentão**

A análise de crescimento foi feita através de valores médios de 2 plantas analisadas para cada condição de cultivo, protegido e de campo. Através da Figura 12 observa-se a variação da altura versus saldo de radiação, e da Figura 13, a variação da matéria seca total versus saldo de radiação, sob condições de cultivo protegido e de campo. Com relação a altura, observa-se que no início as diferenças são pequenas, e somente aos 90 d.a.t. as diferenças passaram a ser acentuadas e crescentes até atingir a altura máxima, para as duas condições de cultivo, sendo que os maiores valores encontrados foram para o cultivo protegido. Já a matéria seca total apresentou as maiores diferenças a partir dos 105 d.a.t. nas duas condições de cultivo, sendo também os maiores valores do cultivo protegido.

Comparando-se as duas condições de cultivo, o protegido apresentou plantas com maiores alturas a partir dos 30 d.a.t. até o final do ciclo, e com relação à matéria seca total, as diferenças iniciaram aos 45 d.a.t. até o final do ciclo, apresentando os maiores valores, o cultivo protegido. É importante notar, que além de apresentar um maior aumento em altura das plantas e na quantidade de matéria seca total durante todo o ciclo, apresentou também um maior índice de área foliar, conforme pode ser visto na Figura 14. Isto demonstra que apesar do cultivo protegido ter tido menos energia líquida disponível ( $R_n$ ) para o crescimento e desenvolvimento da cultura de pimentão, apresentou um acréscimo maior na altura, na matéria seca total e no índice de área foliar, mostrando-se mais eficiente na conversão da energia líquida disponível para o crescimento e desenvolvimento da cultura em questão.

A produtividade de uma cultura é condicionada na sua maior parte pela disponibilidade de energia solar, sendo que o saldo de radiação total do ciclo da cultura de pimentão foi de  $1441,18 \text{ MJ.m}^{-2}$  com uma produtividade de  $9,29 \text{ kg.m}^{-2}$  para o cultivo protegido, e de  $1879,33 \text{ MJ.m}^{-2}$  com uma produtividade de  $6,66 \text{ kg.m}^{-2}$  para o cultivo de campo, e tendo-se uma relação de  $155,13 \text{ MJ.kg}^{-1}$  e  $282,18 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , para as condições de cultivo protegido e de campo, respectivamente, conclui-se que a condição de cultivo protegido foi mais eficiente por kg de fruto produzido em  $1 \text{ m}^2$  em relação à radiação líquida disponível ( $R_n$ ) em MJ.

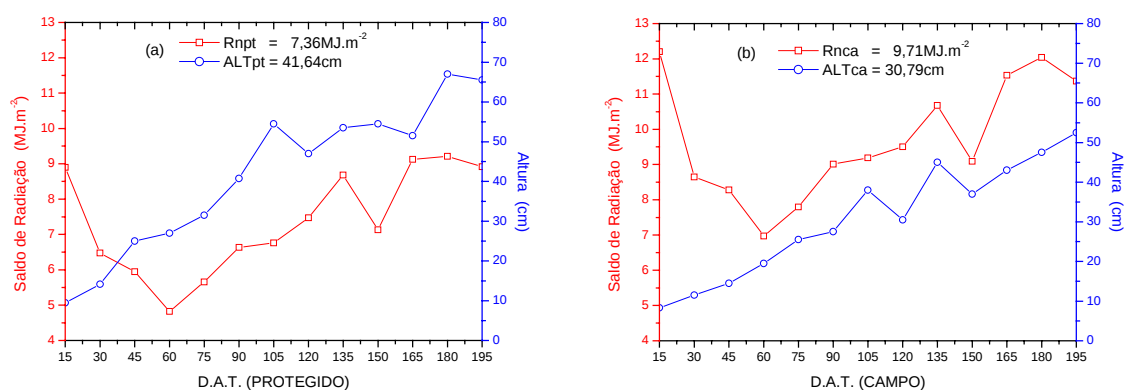


Figura 12 - Altura de plantas (ALT) de pimentão versus o saldo de radiação (Rn) sob condições de cultivo protegido (a-pt) e de campo (b-ca).

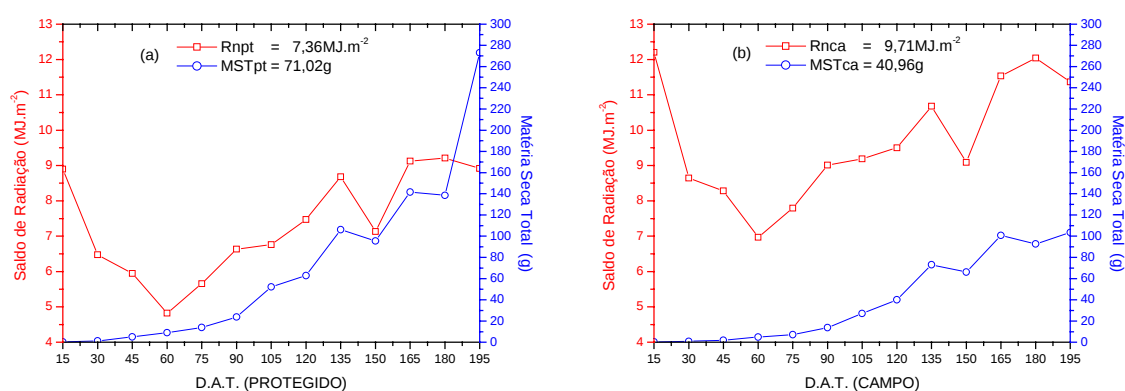


Figura 13 - Matéria seca total (MST) de plantas de pimentão versus o saldo de radiação (Rn) sob condições de cultivo protegido (a-pt) e de campo (b-ca).

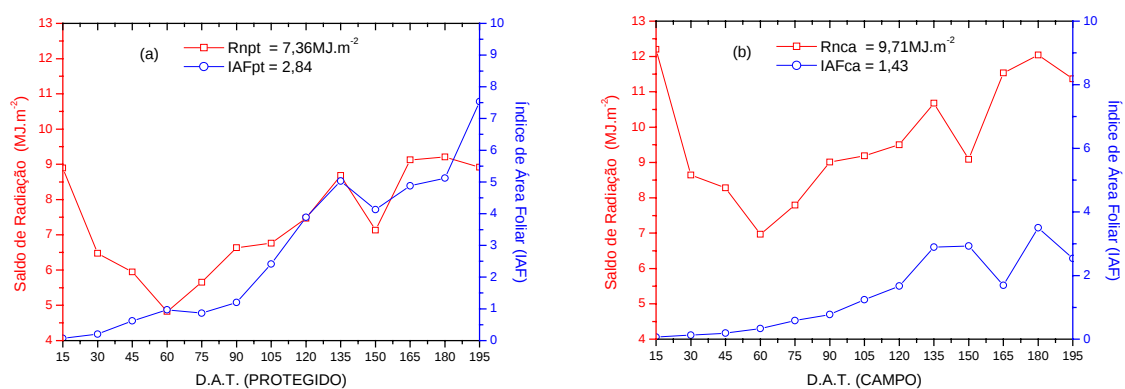


Figura 14 - Índice de área foliar (IAF) versus o saldo de radiação (Rn) sob condições de cultivo protegido (a-pt) e de campo (b-ca).

### 4.3 Temperatura e umidade relativa do ar

Nas Figuras 15(a) e 15(b) são mostrados os valores mínimos diários de temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente, para as condições de cultivo protegido e de campo.

Observa-se que houve diferenças entre os dois cultivos, apresentado em termos médios, valores mínimos de temperatura de 13,96°C e 13,85°C, e de umidade relativa do ar de 41,54% e 45,23%, respectivamente, para as condições de cultivo protegido e de campo, caracterizando valores médios ligeiramente superiores de temperatura do ar de 0,11°C e inferiores de umidade relativa do ar de 3,69%, para o cultivo protegido. Com relação ao valor da temperatura mínima do cultivo protegido ser muito próximo ao do campo, pode ser devido a grande transparência do PEBD à radiação de ondas longas, fazendo com que armazene pouca energia no seu interior.

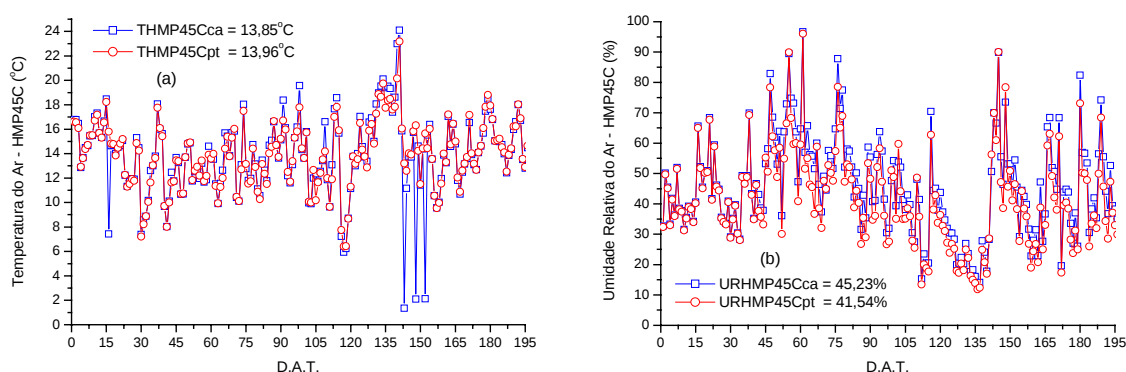


Figura 15 - Valores mínimos diários da temperatura (a) e umidade relativa do ar (b) do sensor HMP45C ao longo do ciclo da cultura, para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).

O valor médio da temperatura mínima do ar no interior de ambientes protegidos cobertos com filme de polietileno de baixa densidade (PEBD), tende ser igual ou ligeiramente superior à temperatura do ar externa (Seeman, 1979; Montero et al., 1985; Mougon et al., 1989; Mills et al., 1990; Buriol et al., 1993; Farias et al., 1993a).

As Figuras 16(a) e 16(b) mostram os valores máximos diários de temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente, para as condições de cultivo protegido e de campo.

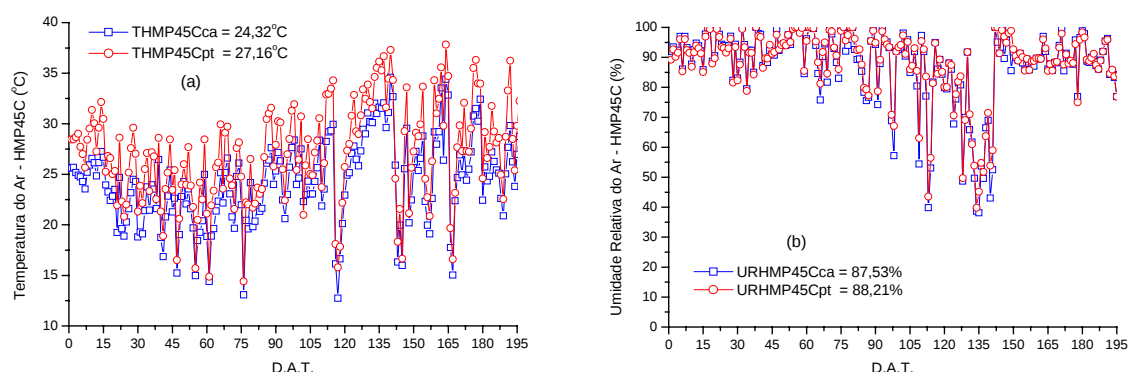


Figura 16 - Valores máximos diários da temperatura (a) e umidade relativa do ar (b) do sensor HMP45C, para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).

Pode-se observar que os valores máximos diários de temperatura do ar foram muito superiores no cultivo protegido ao longo do período analisado, e em termos médios, os valores máximos observados de temperatura do ar foram de 27,16°C e 24,32°C, respectivamente para as condições de cultivo protegido e de campo. A umidade relativa do ar se apresentou ligeiramente maior em cultivo protegido, com valores médios máximos de 88,21% e 87,53%, respectivamente para as condições de cultivo protegido e de campo. Portanto, observa-se valores médios superiores de temperatura do ar de 2,84°C, e valores médios ligeiramente superiores de umidade relativa do ar de 0,68%, para o cultivo protegido, valores também encontrados pelos autores Seeman (1979), Montero et al. (1985), Martins (1992), Farias et al. (1993a) e Camacho et al. (1995). Esses valores maiores de temperatura máxima encontrados para o cultivo protegido, estão associados à radiação solar e à baixa velocidade do vento que ocorre no horário de ocorrência dessa temperatura.

As Figuras 17(a) e 17(b) mostram os valores médios diários de temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente, para as condições de cultivo protegido e de campo.

Nota-se que há pequenas diferenças com relação à temperatura e umidade relativa do ar entre as condições de cultivo protegido e de campo, apresentando valores médios de temperatura do ar de 19,41°C e 18,74°C, e valores médios de umidade relativa do ar de 67,14% e 67,92%, respectivamente para as condições de cultivo protegido e de campo, o que caracteriza também valores médios ligeiramente superiores de temperatura do

ar de  $0,67^{\circ}\text{C}$ , e ligeiramente inferiores de umidade relativa do ar de  $0,78\%$ , para o cultivo protegido. Em termos de valores médios, para a temperatura e umidade relativa do ar, tanto para as condições de cultivo protegido e de campo, os valores foram similares, o que também foi encontrado pelos autores Martins et al. (1992) e Farias et al. (1993a).

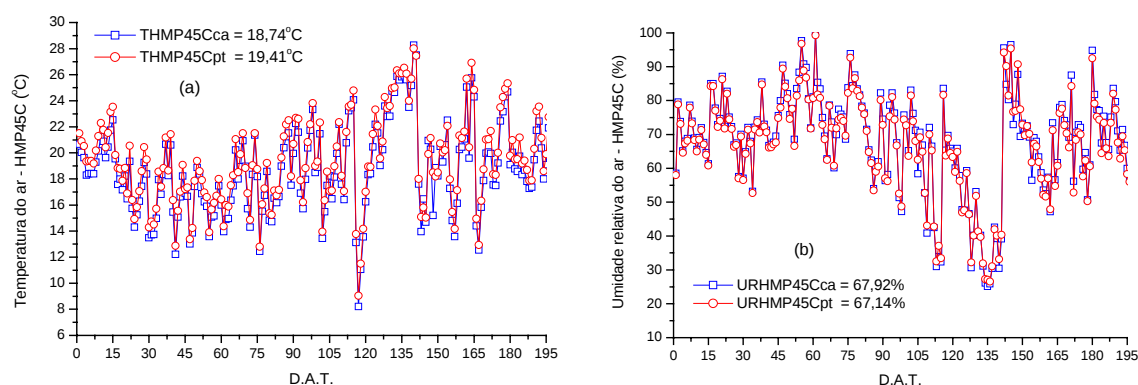


Figura 17 - Valores médios diários da temperatura (a) e umidade relativa do ar (b) do sensor HMP45C, para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).

Portanto, os valores de umidade relativa do ar, tanto para as condições de cultivo protegido e de campo, são muito variáveis e estão intimamente ligados aos valores de temperatura do ar, pois à medida que se tem um aumento de temperatura do ar, diminui-se a umidade relativa, mostrando uma relação inversamente proporcional.

#### 4.4 Temperatura do solo

A Figura 18 demonstra a variação das temperaturas médias diárias do solo ao longo do ciclo da cultura de pimentão, nas profundidades de 0,10 e 0,20m, para as condições de cultivo protegido e de campo.

O valor médio ao longo do ciclo no cultivo protegido apresentou-se ligeiramente mais elevado na profundidade de 0,10m ( $20,98^{\circ}\text{C}$ ), tendo um valor médio pouco inferior na profundidade de 0,20m ( $20,45^{\circ}\text{C}$ ), efeito este que pode ser causado pela cobertura de PEBD, através da reflexão da radiação de ondas curtas, e pela baixa renovação de ar no seu interior devido à baixa velocidade média do vento ( $0,11\text{m.s}^{-1}$ ), fazendo com que as camadas mais superficiais do solo em cultivo protegido tenha mais energia disponível que em condições de campo.

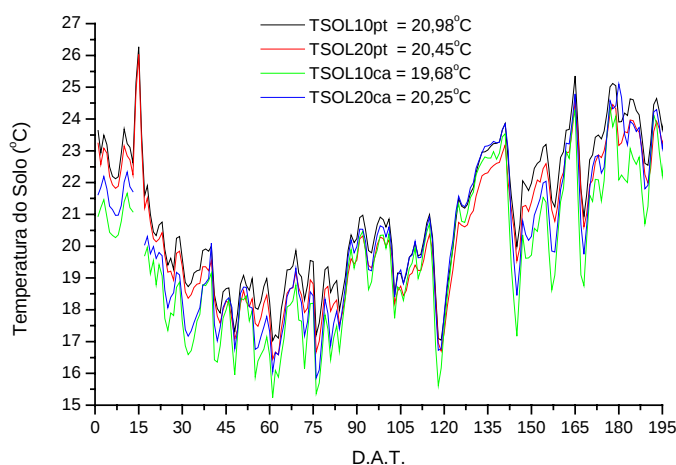


Figura 18 - Variação das temperaturas médias diárias do solo ao longo do ciclo da cultura de pimentão para os cultivos protegido (pt) e de campo (ca).

O cultivo de campo apresentou um valor médio ao longo do ciclo menos elevado na profundidade de 0,10m (19,68°C), tendo um valor médio pouco superior na profundidade de 0,20m (20,25°C), pois neste caso não existe um “anteparo” que cause essa reflexão com o mesmo efeito do PEBD, e também há uma maior renovação do ar em função da maior velocidade média do vento ( $2,10\text{m.s}^{-1}$ ). A maior causa da variação da temperatura na superfície do solo é alteração da intensidade da radiação solar (Van Wijk, 1966), sendo que uma considerável fração desta radiação alcança a superfície do solo se não houver uma densa vegetação cobrindo o solo.

Como é difícil analisar ao longo do ciclo neste caso, separamos um dia de céu limpo (09/10/99) para observar melhor a variação que ocorre em função da radiação solar que chega. Observa-se pela Figura 19(a) que na condição de cultivo de campo ocorrem variações da temperatura do solo em função da radiação global, do vento e da ausência da cobertura de PEBD, sendo que a superfície do solo perde calor para a atmosfera em determinados horários do dia, como mostra a Figura 19(a), das 0:00 às 11:00 h e das 18:00 às 24:00 h, devido à velocidade do vento ser maior nesse período (Figura 19(b)), e no restante do período, das 11:01 às 17:59h ocorre o inverso. As temperaturas ao longo do dia no cultivo protegido, respondem da mesma forma que ao longo do ciclo, mostrando uma variação

semelhante, ou seja, a profundidade de 0,10 m sempre apresenta valores maiores que a de 0,20 m, devido ao efeito de reflexão da radiação de ondas curtas do PEBD.

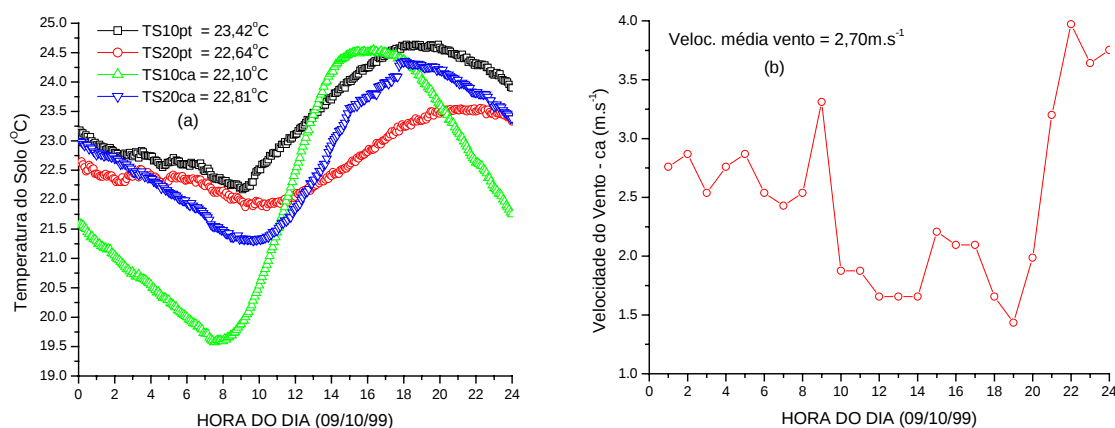


Figura 19 - Variação das temperaturas do solo (a) nos cultivos protegido (pt) e de campo (ca), e da velocidade do vento (b) em cultivo de campo (ca), ao longo do dia 09/10/99.

Valores de temperatura média diária do solo encontrados por Schneider et al. (1993) nas condições climáticas de Santa Maria, RS, nas profundidades de 0,10 e 0,20m, e baseados em observações efetuadas às 9, 15 e 21h, mostraram valores em ambiente protegido sempre superiores àqueles obtidos em condição de campo.

#### 4.5 Velocidade do vento

A variação da velocidade média diária do vento à 2 metros de altura nos cultivos protegido e de campo, ao longo do ciclo da cultura de pimentão, é apresentado na Figura 20. A velocidade média do vento foi de 0,11 e 2,10m.s<sup>-1</sup>, para os cultivos protegido e de campo, respectivamente, representando uma velocidade no interior do cultivo protegido de 5,24% da velocidade ocorrida em cultivo de campo, criando uma condição mais confortável para as plantas no cultivo protegido.

Os meses de inverno no local onde foi conduzido o experimento, apresentam ventos fortes e constantes associados às baixas temperaturas (Figura 21), causando estresse mecânico nas plantas, sendo que as gemas de crescimento de algumas plantas entraram em estado de dormência. Com isso há a paralisação do crescimento e

desenvolvimento delas, deixando-as mais sensíveis ao ataque de pragas e doenças, causando com isso uma grande diferença na qualidade da produtividade dos frutos entre os dois cultivos.

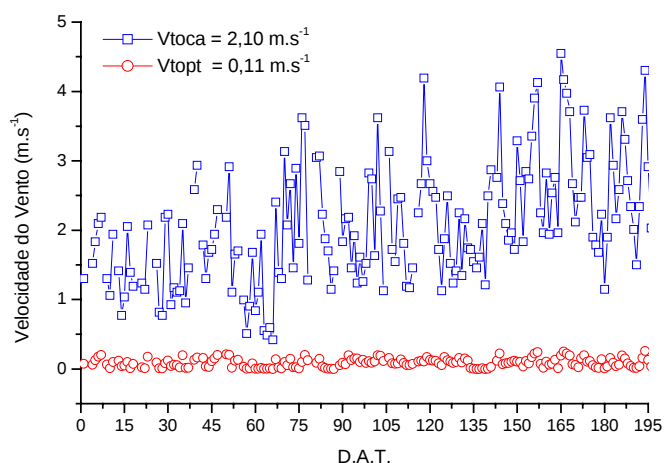


Figura 20 - Variação da velocidade média do vento ( $V_{to}$ ) ao longo do ciclo da cultura de pimentão para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).



Figura 21 – Fotografia ilustrando o efeito do vento nas plantas de pimentão no cultivo de campo (Foto: Cunha, A.R., em 05/07/99).

## 4.6 Radiação solar global, refletida e difusa

### 4.6.1 Radiação solar global (Rg)

A Figura 22(a) apresenta as curvas instantâneas de Rg ao longo do dia 09/10/99 (céu limpo), com valores de máxima intensidade de energia de 815,21 e 1022,14W.m<sup>-2</sup>, ocorrido às 11:30 e 13:45h, para os cultivos protegido e de campo, respectivamente. Relacionando a intensidade máxima do cultivo protegido com o cultivo de campo, obteve-se uma transmissividade máxima do PEBD para este dia de 79,75%.

A Figura 22(b) apresenta as curvas instantâneas de Rg ao longo do dia 17/10/99 (céu nublado), com valores de máxima intensidade de energia de 442,09 e 641,94W.m<sup>-2</sup>, ocorrido às 10:15 e 10:00h, para os cultivos protegido e de campo, respectivamente. Relacionando a intensidade máxima do cultivo protegido com o cultivo de campo, obteve-se uma transmissividade máxima do PEBD para este dia de 68,87%.

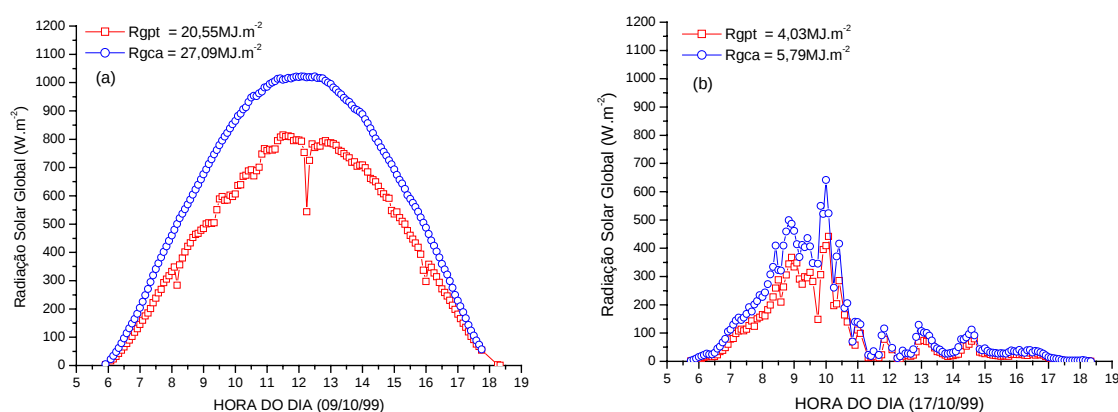


Figura 22 - Curvas de Rg para o dia 09/10/99 (a-céu limpo) e para o dia 17/10/99 (b-céu nublado), nas condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).

Os valores diários integrados de Rg encontrados para o dia 09/10/99, para os cultivos protegido e de campo, foram de 20,55 e 27,09MJ.m<sup>-2</sup>, respectivamente, enquanto para o dia 17/10/99, para os cultivos protegido e de campo, foram de 4,03 e 5,79MJ.m<sup>-2</sup>, respectivamente, demonstrando valores médios diários menores no cultivo protegido para ambos os dias.

Para o dia de céu limpo (09/10/99), podemos observar pela Figura 22(a) picos de menor Rg em condição de cultivo protegido, resultado do sombreamento dos

sensores pelos arcos metálicos da estrutura do cultivo protegido, não sendo possível detectar este fato em dias com céu nublado, como no dia 17/10/99, devido a grande presença de nuvens, diminuindo assim a quantidade de  $R_g$  em ambos os cultivos, mas claro que essa diminuição foi maior no cultivo protegido, devido as características óticas do PEBD que é comprovada pela sua transmissividade, conforme a Figura 22(b).

A Figura 23 mostra a variação de  $R_g$  ao longo do ciclo da cultura de pimentão, com valores integrados de  $R_g$  para as condições de cultivo protegido e de campo, de 2155,68 e 3106,31  $\text{MJ.m}^{-2}$ , respectivamente. Observa-se que o cultivo protegido apresentou os menores valores ao longo do ciclo da cultura, devido à transmissividade de onda curta do PEBD claro utilizado, 68,81% da radiação solar total incidente.

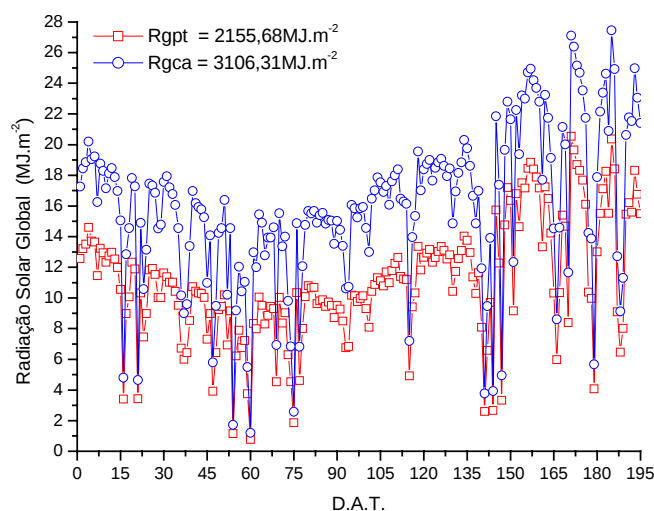


Figura 23 - Variação de  $R_g$  ao longo do ciclo da cultura de pimentão para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).

Em determinados dias, houve uma diminuição acentuada nos valores do cultivo de campo, fazendo com que esses se aproximassem dos valores encontrados em cultivo protegido, sendo a causa disto a ocorrência de dias com céu nublado, que apresenta grande quantidade de nuvens e diminui a quantidade de  $R_g$  em ambos os cultivos. É importante notar que a variação de  $R_g$  depende da época do ano, ou seja, declinação do Sol, mostrando-se em função disto que houve um decréscimo da quantidade de  $R_g$  até os 100 d.a.t.

e após um aumento considerável, para ambos os cultivos, com exceção é claro dos dias nublados.

#### 4.6.2 Radiação solar refletida (Rr)

A Figura 24 mostra a variação de Rr para o ciclo da cultura, com valores integrados de 297,45 e 434,16 MJ.m<sup>-2</sup>, para as condições de cultivo protegido e de campo, respectivamente. Em termos médios diários, ao longo do ciclo da cultura de pimentão, Rr representou 1,62 e 2,35MJ.m<sup>-2</sup> em condições de cultivo protegido e de campo, respectivamente, observando-se valores maiores de energia refletida para o cultivo de campo, demonstrado por um dossel menos denso, o que pode ter aumentado a energia nessa condição de cultivo.

São também observados dias com valores baixos de Rr, próximos de zero, apresentando-se esses dias com céu nublado, impedindo assim a passagem da radiação de ondas curtas a qual deveria incidir sobre o dossel da cultura de pimentão e ser refletida para a atmosfera, sendo grandemente atenuado esse processo devido à presença de grande quantidade de nuvens nesses dias.

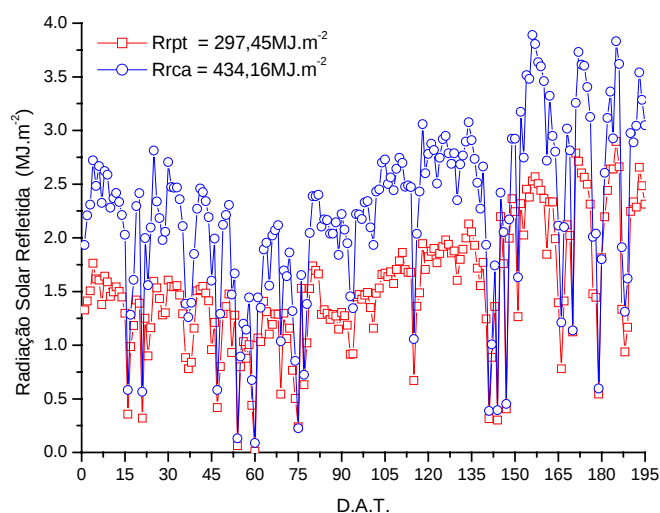


Figura 24 - Variação de Rr ao longo do ciclo da cultura de pimentão para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).

### 4.6.3 Radiação solar difusa (Rd)

Utilizando-se de 2 dias, um com céu limpo (09/10/99) e outro com céu nublado (17/10/99), foi feita a razão entre Rd e Rg para estes dias, conforme descrito no Quadro 10.

Quadro 10 - Relação entre Rd e Rg nas condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca) nos dias 09/10/99 (céu limpo) e 17/10/99 (céu nublado). Rd foi corrigido pelo fator Melo (1993).

| Relação   | 09/10/99 | 17/10/99 | Ciclo da cultura |
|-----------|----------|----------|------------------|
| Rdpt/Rgpt | 0,32     | 0,88     | 0,52             |
| Rdca/Rgca | 0,10     | 0,74     | 0,37             |

Em dia de céu limpo (09/10/99) e na condição de cultivo protegido, os valores de Rd foram percentualmente maiores àqueles obtidos em cultivo de campo, ou seja, representando 31,61% da irradiância global, contra 9,89% da irradiância global para o cultivo de campo. No dia nublado (17/10/99) os percentuais da relação entre Rd e Rg em cultivo protegido e de campo, mostraram-se de forma diferente ao dia com céu limpo, ou seja, com 87,76% e 74,13%, respectivamente, demonstrando que quando o céu está completamente coberto de nuvens, aumentando-se consideravelmente Rd no cultivo de campo, com seus valores aproximando-se da condição do cultivo protegido, apresentando um efeito semelhante ao do PEBD (contra-irradiação) utilizado como cobertura no cultivo protegido, atuando como meio dispersante da radiação e aumentando a fração da radiação difusa (Prados, 1986; Farias et al., 1993b). Este efeito é bastante desejável, pois a radiação difusa é mais efetiva para a fotossíntese por ser multidirecional e penetrar melhor entre as plantas, compensando em parte a parcial opacidade do filme de PEBD à radiação solar global (Martinez Garcia, 1978).

Analisando-se os valores de Rd ao longo do ciclo da cultura, através da relação entre Rd e Rg, conforme Quadro 10, observa-se que para a condição de cultivo protegido, o valores de Rd foram percentualmente maiores que aqueles em condição de cultivo de campo, ou seja, representando 52,13% de Rg, contra 36,67% de Rg para o cultivo de campo, amenizando o efeito dos dias nublados a favor do cultivo de campo, e mantendo-se assim o cultivo protegido com valores superiores, confirmando o efeito da cobertura do PEBD, a contra-irradiação.

A Figura 25(a) apresenta as curvas instantâneas de Rd ao longo do dia 09/10/99 (céu limpo), com valores de máxima intensidade de energia de 188,63 e 57,69W.m<sup>-2</sup>, ocorrido às 11:55h e 13:35h, para os cultivos protegido e de campo, respectivamente. A Figura 25(b) apresenta as curvas instantâneas de Rd ao longo do dia 17/10/99 (céu nublado), com valores de máxima intensidade de energia de 382,34 e 532,44W.m<sup>-2</sup>, ocorrido às 10:05h e 10:15h, para os cultivos protegido e de campo, respectivamente.

Para o dia de céu limpo (09/10/99), conforme a Figura 25(a), observa-se que a condição de cultivo protegido apresentou um valor integrado diário maior (5,53MJ.m<sup>-2</sup>) que o cultivo de campo (1,99MJ.m<sup>-2</sup>), pois a cobertura de PEBD fez com que Rd aumentasse no interior do cultivo protegido, através do efeito da contra-irradiação. No dia de céu nublado (17/10/99), Figura 25(b), nota-se um valor integrado diário de Rd maior para a condição de campo (5,93MJ.m<sup>-2</sup>) em relação ao cultivo protegido (3,68MJ.m<sup>-2</sup>), confirmando o efeito do céu completamente coberto de nuvens, o que nessa condição atmosférica aumenta Rd na condição de cultivo de campo devido ao efeito difusivo das nuvens, superando os valores encontrados no interior do cultivo protegido.

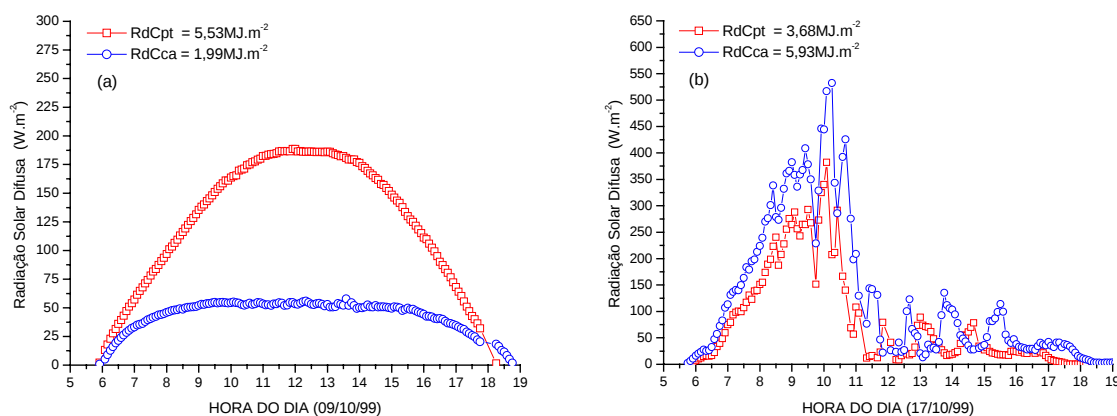


Figura 25 - Curvas de Rd para o dia 09/10/99 (a-céu limpo) e para o dia 17/10/99 (b-céu nublado), nas condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).

Com isso, é importante ressaltar que Rd num determinado dia é função da quantidade e do tipo de nuvens. Assim, em um dia completamente limpo, os valores de Rd tendem a ser percentualmente maiores em condição de cultivo protegido, devido a contra-

irradiação do PEBD, e por outro lado, em dias de céu nublado, os valores de  $R_d$  em cultivo de campo tendem a ser semelhantes percentualmente àqueles obtidos em cultivo protegido, devido ao efeito difusivo da cobertura do céu (nuvens) que aumenta a  $R_d$ .

A Figura 26 mostra os valores integrados de  $R_d$  para o ciclo da cultura de pimentão, onde observa-se em condição de cultivo protegido  $1019,91\text{MJ.m}^{-2}$  e em cultivo de campo  $949,65\text{MJ.m}^{-2}$ , demonstrando o efeito de aumentar  $R_d$  pelo PEBD ao longo do ciclo da cultura.

Através das curvas de  $R_g$  ao longo do ciclo da cultura de pimentão, nota-se que é difícil estabelecer uma correlação entre  $R_g$  e  $R_d$  ao longo do ciclo, devido a variação dos valores de  $R_d$  associado à grande dependência da quantidade e tipo de nuvens, mostrando-se mais dispersivo em condição de cultivo de campo, sendo necessário então, a separação dos dias com céu limpo dos dias com céu nublado para este tipo de estudo, pois segundo Martinez Garcia (1978), em condições de dia com céu limpo, 20% da radiação global corresponde à fração difusa, já em cultivo protegido esse valor pode ser superior a 60%.

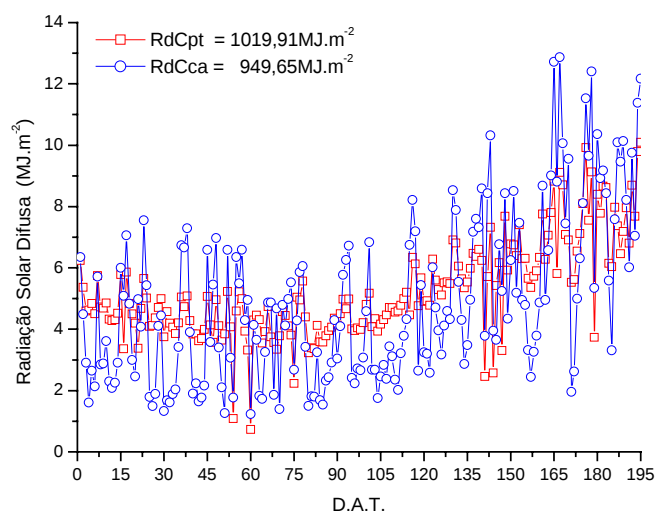


Figura 26 - Variação de  $R_d$  ao longo do ciclo da cultura de pimentão para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).

## 4.7 Balanço de radiação

### 4.7.1 Balanço de radiação de ondas curtas (BOC)

Através da Figura 27, observa-se a variação do BOC ao longo do ciclo da cultura de pimentão, apresentando valores de  $1858,23\text{MJ.m}^{-2}$  e de  $2672,15\text{MJ.m}^{-2}$ , para as condições de cultivo protegido e de campo, respectivamente.

Nota-se que o cultivo protegido apresentou valores menores desse balanço ao longo do ciclo da cultura, o que é devido à menor incidência de  $R_g$  e conseqüentemente menos  $R_r$  no interior do cultivo protegido, pois a transmissividade do polietileno em questão foi de 68,81%. Em determinados dias, houve uma diminuição acentuada nos valores do cultivo de campo, fazendo com que esses se aproximassem dos valores encontrados em cultivo protegido, sendo a causa disto a ocorrência de dias com céu nublado, fazendo com que não houvesse grande disponibilidade de  $R_g$  nesses dias.

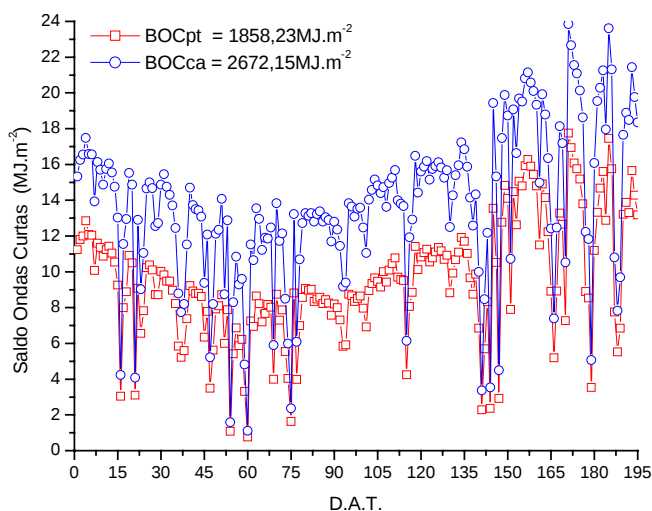


Figura 27 - Variação do BOC ao longo do ciclo da cultura de pimentão, para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).

### 4.7.2 Balanço de radiação de ondas longas (BOL)

Observa-se pela Figura 28 a variação do BOL ao longo do ciclo da cultura de pimentão, apresentando valores de  $431,62\text{MJ.m}^{-2}$  e de  $791,61\text{MJ.m}^{-2}$ , para as condições de cultivo protegido e de campo, respectivamente.

O cultivo protegido apresentou os menores valores desse balanço ao longo do ciclo da cultura, pois como era menor o BOC, conforme visto na Figura 27, conseqüentemente também o BOL, devido a menor disponibilidade de energia no interior do cultivo protegido e a alta transparência à radiação de ondas longas, em torno de 80% (Tapia, 1981; Pedro, 1987). Os dias em que também houveram uma diminuição acentuada nos valores do cultivo de campo, fazendo com que esses se aproximassem dos valores encontrados em cultivo protegido, também estão associados a essa baixa disponibilidade de  $R_g$  desses dias, ou seja, os dias com céu nublado.

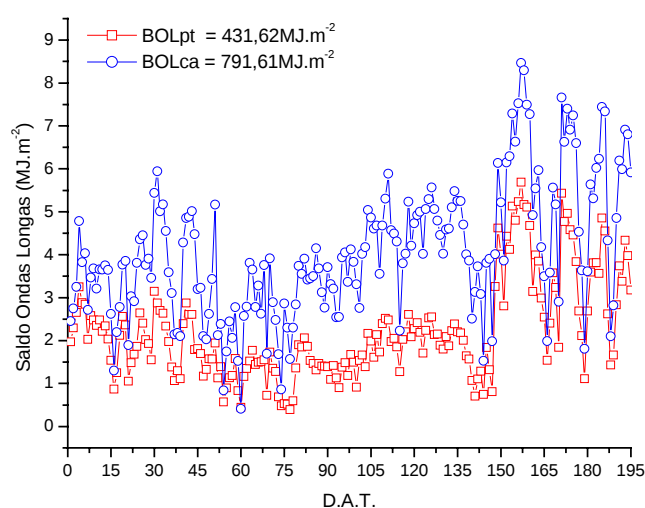


Figura 28 - Variação do BOL ao longo do ciclo da cultura de pimentão, para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).

#### 4.8 Saldo de radiação ( $R_n$ ) versus balanço de ondas curtas (BOC) e longas (BOL)

A Figura 29 apresenta as curvas do BOC, do BOL e do  $R_n$  para o dia 09/10/99 (céu limpo), para as condições de cultivo protegido e de campo. Nota-se que ao longo do dia, nas horas de brilho solar, que  $R_n$  na superfície do dossel da cultura é positivo, pois os fluxos incidentes (global e atmosférico) são superiores às frações refletidas e emitidas; e por outro lado, à noite, os valores de  $R_n$  são negativos, pois o fluxo incidente passa a ser

somente atmosférico, e a energia emitida pela superfície é superior a este, resultando num saldo de radiação negativo (Geiger, 1961, Monteith, 1973, Pezzopane et al., 1995).

Nas condições de cultivo protegido os valores de  $R_n$  são menores que em condições de cultivo de campo, em consequência da transmissividade de onda curta do PEBD claro utilizado ser de 68,81% da radiação solar total incidente, pois como mostra na Figura 29(a), a contribuição do BOC para o  $R_n$  em condição de cultivo protegido foi menor, e portanto o BOL é proporcional a essa energia que incidiu no ambiente em estudo (cultivo protegido).

A irradiância máxima do  $R_n$  apresentada na Figura 29, ocorreu às 12:00 h, com valores de  $594,01 \text{ W.m}^{-2}$  e  $787,72 \text{ W.m}^{-2}$  nas condições de cultivo protegido e de campo, respectivamente. A irradiância de onda longa máxima foi  $-55,86 \text{ W.m}^{-2}$  e  $-88,61 \text{ W.m}^{-2}$ , ocorrendo às 17:55h e 18:00h nas condições de cultivo protegido e de campo, respectivamente, evidenciando uma diminuição significativa na emissão de onda longa no cultivo protegido, comprovado pela alta transparência à radiação de onda longa, em torno de 80% (Tapia, 1981; Pedro, 1987).

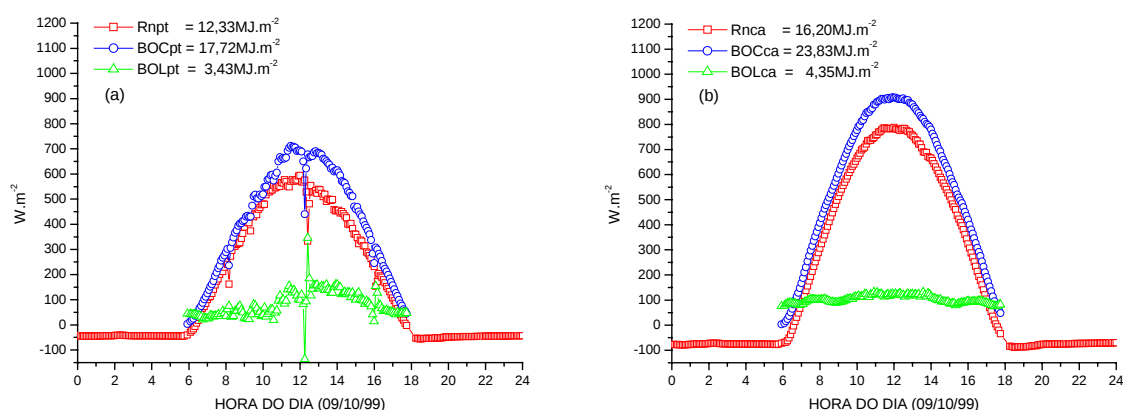


Figura 29 - Curvas do BOC, do BOL e do  $R_n$  para o dia 09/10/1999 (céu limpo), em condições de cultivo protegido (a-pt) e de campo (b-ca), em fase de pleno desenvolvimento reprodutivo (produção plena) da cultura de pimentão.

Os picos de menor irradiância observados no cultivo protegido são resultados do sombreamento dos sensores pela estrutura do cultivo protegido (arcos metálicos).

Pode-se dizer que o cultivo protegido diminuiu a intensidade de incidência da radiação de ondas curtas por unidade de área durante o período diurno, e conseqüentemente, também as perdas por emissão da radiação de ondas longas durante o período noturno.

No Quadro 11 é apresentada a relação entre  $Rn(n)/Rn(d)$  para o dia 09/10/99 (céu limpo), como sendo de 13,29% e 16,28% para as condições de cultivo protegido e de campo, respectivamente. Pelo Quadro 12, essa relação para o dia 17/10/99 (céu nublado), foi de 13,82% e 14,44% para as condições de cultivo protegido e de campo, respectivamente. Analisando esses dois dias, independente da condição atmosférica (cobertura do céu), observou-se uma relação inferior em cultivo protegido, estando isso associado a contra-irradiação do PEBD, que tende a devolver parte da energia emitida pela superfície; o que em condições de dia com céu nublado (17/10/99), essa relação se aproxima, devido à grande quantidade de nuvens em cultivo de campo, as quais contra-irradiam parte da radiação de ondas longas.

Quadro 11 - Valores de saldo de radiação diurno ( $Rn(d)$ ), noturno ( $Rn(n)$ ), total ( $Rn(t)$ ) e a relação  $Rn(n)/Rn(d)$ , em condições de cultivo protegido e de campo, para o dia 09/10/99 (céu limpo).

| Saldo de radiação ( $MJ.m^{-2}$ ) | Protegido | Campo |
|-----------------------------------|-----------|-------|
| $Rn(d)$                           | 14,22     | 19,35 |
| $Rn(n)$                           | -1,89     | -3,15 |
| $Rn(t)$                           | 12,33     | 16,20 |
| $Rn(n)/Rn(d)$                     | 0,13      | 0,16  |

(d) = período diurno: das 6:00 às 18:00h;

(n) = período noturno: das 00:05 às 5:55h e das 18:05 às 24:00h;

(t) = período total: das 00:05 às 24:00h.

Quadro 12 - Valores de saldo de radiação diurno ( $Rn(d)$ ), noturno ( $Rn(n)$ ), total ( $Rn(t)$ ) e a relação  $Rn(n)/Rn(d)$ , em condições de cultivo protegido e de campo, para o dia 17/10/99 (céu nublado).

| Saldo de radiação ( $MJ.m^{-2}$ ) | Protegido | Campo |
|-----------------------------------|-----------|-------|
| $Rn(d)$                           | 2,75      | 3,74  |
| $Rn(n)$                           | -0,38     | -0,54 |
| $Rn(t)$                           | 2,37      | 3,20  |
| $Rn(n)/Rn(d)$                     | 0,14      | 0,14  |

(d) = período diurno: das 6:00 às 18:00h;

(n) = período noturno: das 00:05 às 5:55h e das 18:05 às 24:00h;

(t) = período total: das 00:05 às 24:00h.

Observa-se pela Figura 30 que no dia 17/10/99 (céu nublado), os valores do  $R_n$  em cultivo de campo tendem a se aproximar dos valores em cultivo protegido, pois esses dias apresentaram grande quantidade de nuvens, impedindo a passagem da radiação de ondas curtas, a qual deveria incidir sobre o dossel da cultura de pimentão, diminuindo conseqüentemente a radiação de ondas longas em cultivo de campo.

Os valores de  $R_n$  em cultivo protegido foram menores que em condição de cultivo de campo, ao longo do dia na cultura de pimentão, devido à absorção e reflexão de uma fração da  $R_d$  pelo PEBD, pois em condições de  $R_n$  negativo (à noite), os valores em condição de campo são mais negativos, ocorrendo maiores perdas de energia nessa condição, pois o efeito da contra-irradiação do PEBD impede a passagem de uma fração da componente de onda longa, pois apresenta em torno de 80% de permeabilidade à radiação de onda longa (Tapia, 1981; Pedro, 1987), contribuindo para uma menor perda de energia noturna em condição de cultivo protegido, conforme visto na Figura 30.

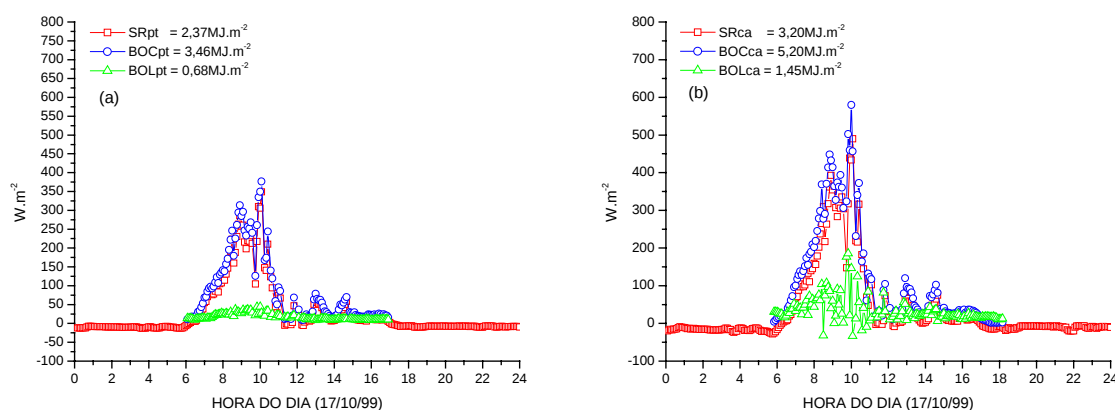


Figura 30 - Curvas do BOC, do BOL e de  $R_n$  para o dia 17/10/1999 (céu nublado), em condições de cultivo protegido (a-pt) e de campo (b-ca), em fase de pleno desenvolvimento reprodutivo (produção plena) da cultura de pimentão.

Conforme a Figura 31, os totais integrados do  $R_n$  ao longo do ciclo da cultura de pimentão, foram de  $1441,18 MJ.m^{-2}$  e  $1879,33 MJ.m^{-2}$ , nas condições de cultivo protegido e de campo, respectivamente, mostrando uma relação ( $R_{npt}/R_{nca}$ ) de 0,76, comprovando uma menor transmissividade do PEBD à radiação de ondas curtas.

Ainda pela Figura 31, nota-se que na variação de  $R_n$  durante o ciclo da cultura de pimentão, existiram dias com baixa energia na superfície do solo (dias com céu

nublado), nos quais os valores de  $R_n$  em cultivo de campo se aproximaram à condição de cultivo protegido, sendo que esses dias apresentaram grande quantidade de nuvens, impedindo a passagem da radiação de ondas curtas que deveria incidir sobre o dossel da cultura, diminuindo conseqüentemente a radiação de ondas longas no cultivo de campo.

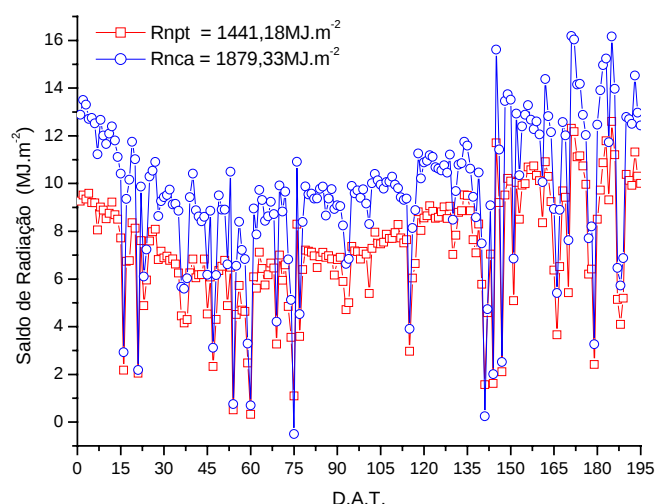


Figura 31 - Variação do  $R_n$  ao longo do ciclo da cultura de pimentão para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).

#### 4.9 Transmissividade do polietileno de baixa densidade claro (T) à radiação solar global ( $R_g$ )

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

A Figura 32(a) mostra a transmissividade do polietileno de baixa densidade claro de 120  $\mu$ m de espessura ao longo do dia 09/10/99 (céu limpo), na Figura 32(b) ao longo do dia 17/10/99 (céu nublado), e na Figura 32(c) ao longo do ciclo da cultura do pimentão, mostrando que em dia com ausência de nuvens (09/10/99), os valores de

transmissividade apresentaram-se menos variáveis, ocorrendo o inverso em dia com grande quantidade de nuvens (17/10/99), estando isso associado à própria condição atmosférica do dia e do instante da medida da Rg.

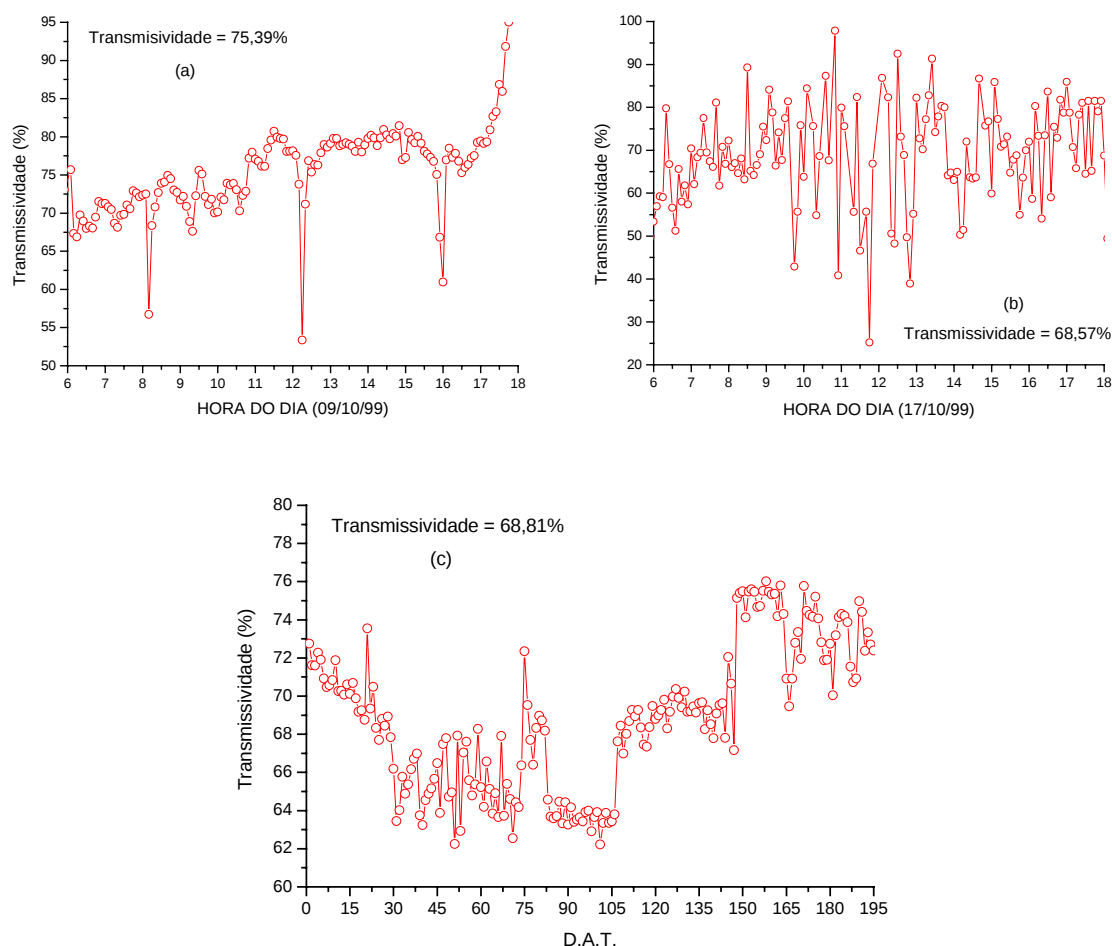


Figura 32 - Curvas de transmissividade instantânea para os dias 09/10/99 (a-céu limpo) e 17/10/99 (b-céu nublado) e ao longo do ciclo da cultura de pimentão (c).

A transmissividade média do dia 09/10/99 e 17/10/99 foi de 75,39% e 68,57%, respectivamente, mostrando que houve uma diminuição no dia 17/10/99, provocada pela presença de nuvens, diminuindo-se o tempo de exposição do sensor de Rg, obtendo-se assim valores instantâneos menores de Rg para ambos os cultivos.

Em dia com céu limpo (09/10/99), a transmissividade apresenta os maiores valores entre as 11:00 e 16:30 h, com valor médio de 77,50%, sendo que próximo ao

entardecer, das 16:35 às 18:00 h, ocorreram valores muito maiores, com valor médio de 82,05%, sendo que esses altos valores no entardecer se deve à condensação de gotas de vapor d'água na superfície inferior do PEBD. Esses altos valores é devido a uma maior dispersão da  $R_d$  no interior do cultivo protegido decorrente desse acúmulo de vapor d'água na forma de gotas, aumentando os valores da  $R_g$  nesse cultivo, de acordo com os autores Gijzen (1995) e Pieters et al. (1997).

Os menores valores de transmissividade observados ao longo do dia com ausência de nuvens (09/10/99), é devido ao efeito do sombreamento dos arcos metálicos da estrutura do cultivo protegido sobre o sensor da  $R_g$ , diminuindo a incidência de  $R_g$  no interior do cultivo protegido nesses instantes.

No dia 17/10/99 (céu nublado) os valores ao longo do dia apresentaram-se muito variáveis, pois a condição de céu nublado diminuiu a diferença entre os valores da  $R_g$  instantânea nos cultivos protegido e de campo. Esse efeito é da contra-irradiação atmosférica que é aumentada no cultivo de campo, devido a presença de grande quantidade de nuvens, criando uma condição semelhante ao do PEBD, o qual aumenta a  $R_d$  no cultivo protegido devido contra-irradiação do PEBD, sendo que em média os valores foram um pouco menores que em condição de céu limpo.

Ao longo do ciclo da cultura de pimentão observou-se uma transmissividade média de 68,81%, com uma cobertura de PEBD que já possuía um ano de utilização. Este valor foi próximo aos encontrados por outros autores para o mesmo tipo de material, tais como Tuller & Peterson (1988), Farias et al. (1993b), Camacho et al. (1995) e Galvani et al. (2000), sendo que o último autor utilizou-se da mesma cobertura no cultivo protegido de pepino, encontrando no primeiro ano de uso valores de transmissividade de 70,6% e 76,0%, para o inverno e verão, respectivamente, mostrando que não houve uma diminuição significativa no segundo ano de uso dessa cobertura, ou seja, entre os cultivos protegido de pepino e de pimentão. Nota-se que ao longo do ciclo da cultura, que os efeitos da difusão se dissipam, pois existem mais dias com céu limpo que dias com céu nublado no período do cultivo de pimentão, apresentando um valor médio de transmissividade mais representativo para a condição de cultivo protegido de pimentão.

#### 4.10 Coeficiente de reflexão (r)

O coeficiente de reflexão de uma determinada superfície é dependente da coloração da vegetação, condições de umidade do ar e do solo, percentagem de cobertura do solo, arranjo foliar da cultura, ângulo de inclinação do Sol, quantidade e tipo de nuvens (Stanhill et al., 1968; Blad & Baker, 1972; Azevedo et al., 1990; Leitão et al., 1990). Como neste caso, a cultura de pimentão não apresentou um dossel denso que cobrisse completamente a superfície do solo, simulando uma condição para uma medida ideal, esse coeficiente está composto da refletividade da superfície das folhas da cultura pimentão e de grande parte do solo.

A Figura 33 mostra a variação do coeficiente de reflexão (r) do dossel da cultura de pimentão ao longo do ciclo, para as condições de cultivo protegido e de campo. Houve semelhança na variação da curva e nos valores encontrados, sendo que obteve-se o coeficiente de reflexão de 13,57% e de 13,73% para os cultivos protegido e de campo, respectivamente.

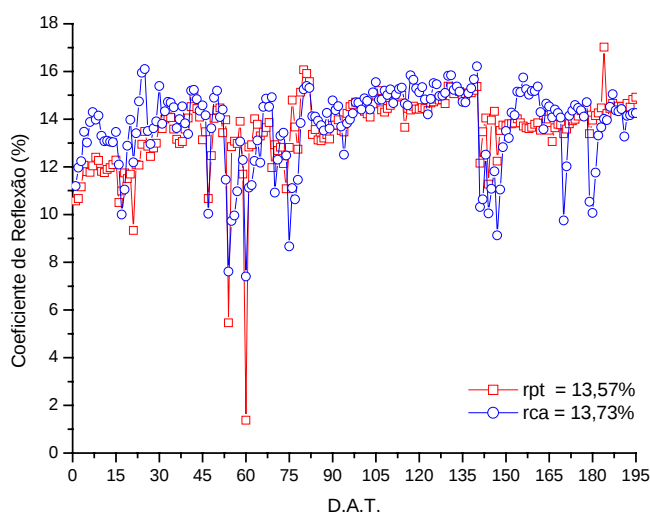


Figura 33 - Variação do coeficiente de reflexão (r) do dossel da cultura de pimentão ao longo do ciclo, para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca).

Esses valores são bem próximos dos encontrados para solo nú, sendo uma das causas destes valores baixos, um dossel que não cobriu completamente a superfície do solo, deixando que o solo influenciasse muito nessa medida em função do espaçamento

utilizado nas entre linhas. Para culturas agrícolas em crescimento, com altura entre 50 e 100cm, o coeficiente de reflexão está entre 18 e 25%, porém quando a cobertura do solo é incompleta, esse valor pode chegar a 10% (Monteith & Szeicz, 1961), pois a arquitetura de uma planta apresenta muitas variações, sendo que uma parte significativa da radiação refletida é bloqueada entre os espaços das folhas.

#### 4.11 Fluxo de calor no solo (G)

É observado na Figura 34, as curvas diárias do G para o dia 09/10/99 (céu limpo), com valores de G de  $-0,59$  e  $-0,33\text{MJ.m}^{-2}$ , para as condições de cultivo protegido e de campo, respectivamente; para o dia 17/10/99 (céu nublado), com valores de G de  $0,32$  e  $1,60\text{MJ.m}^{-2}$ , para as condições de cultivo protegido e de campo, respectivamente, mostrando que o dia com céu nublado apresentou os maiores valores de G.

Comparando-se a variação das curvas dos dois dias, nota-se que em dia com céu nublado (17/10/99), devido a presença de grande quantidade de nuvens, houve menor quantidade de  $R_g$  e conseqüentemente valores menos negativos de G.

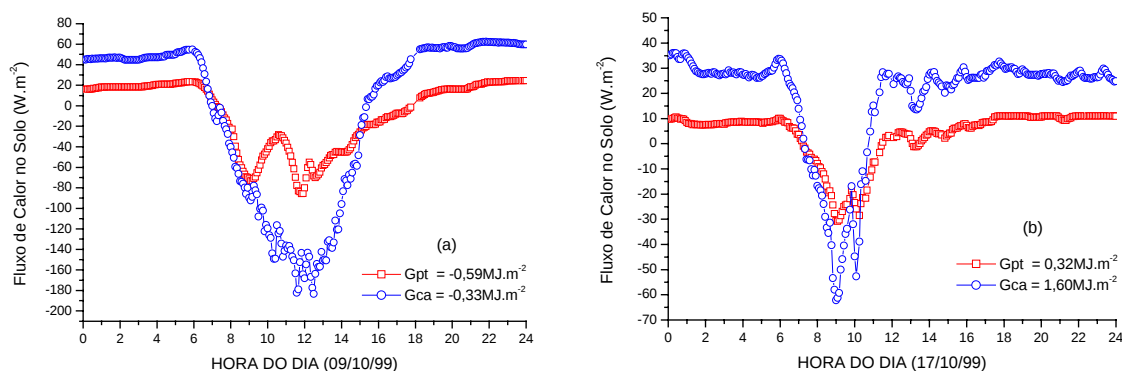


Figura 34 - Curvas do fluxo de calor no solo (G) para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca), nas datas de 09/10/99 (a - céu limpo) e de 17/10/99 (b - céu nublado).

Analisando-se por partes, ou seja, em primeiro lugar, o dia com céu limpo (09/10/99), apresentando um valor de  $-0,59\text{MJ.m}^{-2}$  para o cultivo protegido e de  $-0,33\text{MJ.m}^{-2}$  para o cultivo de campo, mostrando que o solo perdeu menos calor durante a noite no cultivo protegido devido a própria característica do PEBD (contra-irradiação), sendo que recebeu menos  $R_g$  durante o dia em relação ao cultivo de campo, mostrando um gradiente

menor de calor no solo durante todo o dia. Em segundo lugar, o dia com céu nublado (17/10/99), apresentando um valor de  $0,32\text{MJ.m}^{-2}$  para o cultivo protegido e de  $1,60\text{MJ.m}^{-2}$  para o cultivo de campo, mostrando que o solo perdeu menos calor durante maior parte do dia no cultivo protegido devido ao efeito da contra-irradiação do PEBD, sendo que recebeu menos  $R_g$  durante uma pequena parte do dia em relação ao cultivo de campo, e mostrando também um gradiente menor de calor no solo durante todo o dia, sendo que nesse dia com céu nublado o gradiente se mostra menor que o dia com céu limpo devido a um menor tempo de  $R_g$  disponível à superfície do solo para ambos os cultivos.

Pela Figura 35, vê-se que durante o ciclo da cultura de pimentão, o G em cultivo protegido foi de  $29,61\text{MJ.m}^{-2}$  e de  $124,17\text{MJ.m}^{-2}$  em cultivo de campo.

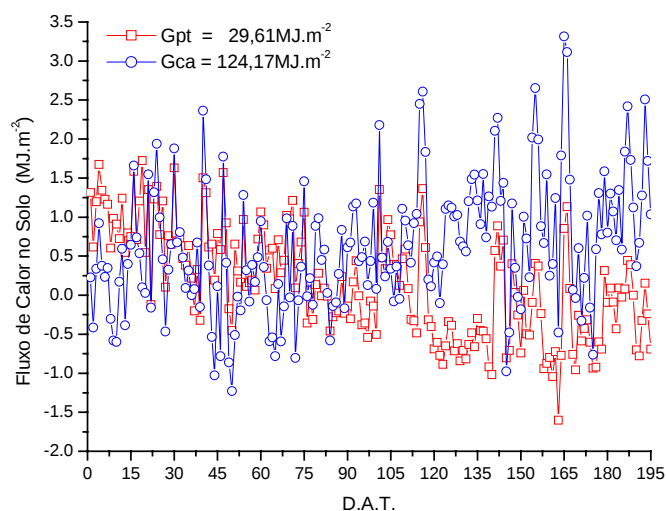


Figura 35 - Variação do G em condições de cultivo protegido (pt) e em cultivo de campo (ca), ao longo do ciclo da cultura do pimentão.

Observa-se que o G ao longo do ciclo da cultura variou menos na condição de cultivo protegido, pois em primeiro lugar, no cultivo protegido as plantas se desenvolveram mais, apresentando um dossel mais denso após os 75 d.a.t., sendo que a partir daí houve um maior sombreamento do solo nessa condição, sendo que o sensor se encontrava instalado na linha de plantio da cultura, e também pela característica do PEBD de diminuir  $R_g$ , causando assim uma diminuição da quantidade de  $R_n$  disponível na superfície do solo no período diurno; e em segundo lugar, devido ao efeito da contra-irradiação do PEBD, sendo

que recebeu em média menos  $R_g$  durante todo o ciclo da cultura de pimentão em relação ao cultivo de campo, mostrando também um gradiente menor de calor no solo durante o dia, criando condições mais adequadas de temperatura na superfície do solo para o desenvolvimento da cultura. A temperatura na superfície do solo é considerada muito importante no balanço de energia, pois dela depende o desenvolvimento das plantas, sendo que a maior causa da variação da temperatura na superfície do solo é a quantidade de  $R_g$  que atinge a superfície do solo (Van Wijk, 1966).

## 4.12 Balanço de energia

### 4.12.1 Balanço de energia diário da cultura de pimentão

O Quadro 13 mostra a partição diária do balanço de energia em condições de cultivo protegido e de campo para o dia 26/09/99 (céu limpo). Para a condição de cultivo protegido, o saldo de radiação ( $R_n$ ) totalizou  $10,70 \text{ MJ.m}^{-2}$ , sendo que o fluxo de calor no solo ( $G$ ) representou 8,78% ( $-0,94 \text{ MJ.m}^{-2}$ ), o fluxo de calor latente ( $LE$ ) representou 82,24% ( $-8,80 \text{ MJ.m}^{-2}$ ) e o fluxo de calor sensível ( $H$ ) representou 26,45% ( $2,83 \text{ MJ.m}^{-2}$ ) do fluxo líquido de energia radiante na cultura de pimentão. Na condição de cultivo de campo, o  $R_n$  totalizou  $12,29 \text{ MJ.m}^{-2}$ , sendo que o  $G$  representou 5,94 % ( $0,73 \text{ MJ.m}^{-2}$ ), o  $LE$  representou 107,40% ( $-13,20 \text{ MJ.m}^{-2}$ ) e o  $H$  representou 39,46% ( $-4,85 \text{ MJ.m}^{-2}$ ) do fluxo líquido de energia radiante na cultura de pimentão.

Quadro 13 - Partição diária do balanço de energia em condições de cultivo protegido e de campo na data de 26/09/99 (céu limpo), para a cultura de pimentão.

| Partição | Protegido<br>( $\text{MJ.m}^{-2}$ ) | Campo<br>( $\text{MJ.m}^{-2}$ ) |
|----------|-------------------------------------|---------------------------------|
| $R_n$    | 10,70                               | 12,29                           |
| $G$      | -0,94                               | 0,73                            |
| $LE$     | -8,80                               | -13,20                          |
| $H$      | 2,83                                | -4,85                           |
| $G/R_n$  | -0,09                               | 0,06                            |
| $LE/R_n$ | -0,82                               | -1,07                           |
| $H/R_n$  | 0,26                                | -0,39                           |

Os valores obtidos dos fluxos  $G$ ,  $LE$  e  $H$  demonstram que houveram diferenças entre os dois cultivos, mostrando que esses fluxos acompanharam a disponibilidade

energética na superfície, apresentando o cultivo protegido uma transferência menor de 14,86% em relação ao cultivo de campo. As razões  $G/R_n$ ,  $LE/R_n$  e  $H/R_n$  obtidas, caracterizam que houveram maiores perdas de energia no cultivo de campo em relação ao cultivo protegido, tanto para a evaporação da água quanto para o aquecimento do ar próximo à superfície, atribuindo-se essas perdas ao maior efeito advectivo do vento no cultivo de campo. Além disso, nota-se que o fluxo  $LE$  apresentou-se maior em relação aos demais fluxos em ambos os cultivos, comprovando a constante presença de advecção (Lemon et al., 1971; Alves et al., 1998). O valor negativo de  $H$  no cultivo de campo está associado à perda de calor da cultura para a atmosfera, o que ocorreu devido ao maior efeito advectivo, ou seja, a atmosfera estava menos aquecida devido a maior renovação do ar nessa condição.

Na Figura 36 têm-se as curvas de partição diária do balanço de energia em cultivo protegido e de campo, no dia 26/09/99 (céu limpo). A curva do  $LE$  apresentou-se com maior variação que a curva do  $R_n$ , sendo que houveram alguns instantes do dia em que o  $LE$  superou o  $R_n$ .

O  $R_n$  ao longo do dia no cultivo protegido, apresentou um valor integrado menor, devido à transmissividade de onda curta do PEBD claro utilizado ser de 68,81% da radiação solar total incidente. O  $G$  ao longo do dia no cultivo protegido, apresentou um valor integrado negativo ( $-0,94\text{MJ.m}^{-2}$ ), enquanto que o cultivo de campo apresentou um valor integrado positivo ( $0,73\text{MJ.m}^{-2}$ ), indicando que ocorreu menor perda de calor no solo no cultivo protegido. Em primeiro lugar, isto pode estar associado a um maior sombreamento do solo nessa condição, sendo que o sensor se encontrava instalado na linha de plantio da cultura, e também pela característica do PEBD de diminuir  $R_g$ , causando assim uma diminuição da quantidade de  $R_n$  disponível na superfície do solo; e em segundo lugar, devido ao efeito da contra-irradiação do PEBD, sendo que recebeu em média menos  $R_g$  durante todo o dia em relação ao cultivo de campo. Observou-se ainda ao longo do dia, para as duas condições de cultivo, que a demanda de energia para o  $LE$  superou a demanda para o  $H$ , sendo que no cultivo de campo essa demanda foi maior devido aos maiores efeitos convectivo e advectivo.

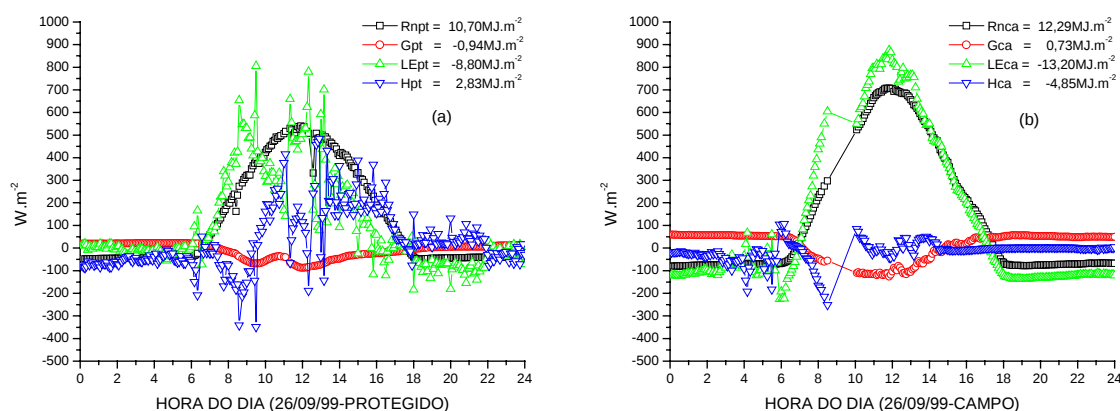


Figura 36 - Curvas do Rn, do G, do LE e do H para as condições de cultivo protegido (a) e de campo (b), respectivamente, para o dia 26/09/99 (céu limpo).

#### 4.12.2 Balanço de energia ao longo do ciclo da cultura de pimentão

No balanço de energia ao longo do ciclo da cultura de pimentão para o cultivo protegido, conforme Quadro 14, observa-se que o saldo de radiação (Rn) totalizou  $1441,18 MJ.m^{-2}$ , sendo representado por 2,05% do fluxo de calor no solo (G) ( $29,61 MJ.m^{-2}$ ), por 87,74% do fluxo de calor latente (LE) ( $-1264,46 MJ.m^{-2}$ ) e por 9,66% do fluxo de calor sensível (H) ( $139,25 MJ.m^{-2}$ ) do fluxo líquido de energia radiante ao longo do ciclo da cultura de pimentão. No cultivo de campo, o Rn totalizou  $1879,33 MJ.m^{-2}$ , sendo representado por 6,61% do G ( $124,17 MJ.m^{-2}$ ), por 98,04% do LE ( $-1842,49 MJ.m^{-2}$ ) e por  $-4,02\%$  do H ( $-75,50 MJ.m^{-2}$ ) do fluxo líquido de energia radiante ao longo do ciclo da cultura de pimentão.

Quadro 14 - Partição do balanço de energia em condições de cultivo protegido e de campo durante o ciclo da cultura de pimentão.

| Partição | Protegido<br>( $MJ.m^{-2}$ ) | Campo<br>( $MJ.m^{-2}$ ) |
|----------|------------------------------|--------------------------|
| Rn       | 1441,18                      | 1879,33                  |
| G        | 29,61                        | 124,17                   |
| LE       | -1264,46                     | -1842,49                 |
| H        | 139,25                       | -75,50                   |
| G/Rn     | 0,02                         | 0,07                     |
| LE/Rn    | -0,88                        | -0,98                    |
| H/Rn     | 0,10                         | -0,04                    |

Os valores obtidos dos fluxos G, LE e H demonstram que houveram diferenças entre os dois cultivos, mostrando que esses fluxos acompanharam a disponibilidade energética na superfície, apresentando o cultivo protegido uma transferência menor de 30,40% em relação ao cultivo de campo. As razões G/Rn, LE/Rn e H/Rn obtidas, caracterizam que houveram maiores perdas de energia no cultivo de campo em relação ao cultivo protegido, tanto para a evaporação da água quanto para o aquecimento do ar próximo à superfície, atribuindo-se essas perdas ao maior efeito advectivo do vento no cultivo de campo. Além disso, nota-se que o fluxo LE apresentou-se maior em relação aos demais fluxos em ambos os cultivos, comprovando a constante presença de advecção (Lemon et al., 1971; Alves et al., 1998). O valor negativo de H no cultivo de campo está associado à perda de calor da cultura para a atmosfera, o que ocorreu devido ao maior efeito advectivo, ou seja, a cultura estava mais aquecida que a atmosfera.

Nas Figuras 37(a) e 37(b) têm-se as curvas de partição do balanço de energia ao longo do ciclo da cultura de pimentão em cultivo protegido e de campo, respectivamente. A curva do LE apresentou-se com uma variação semelhante à curva do Rn, sendo que houveram alguns dias em que o LE superou o Rn.

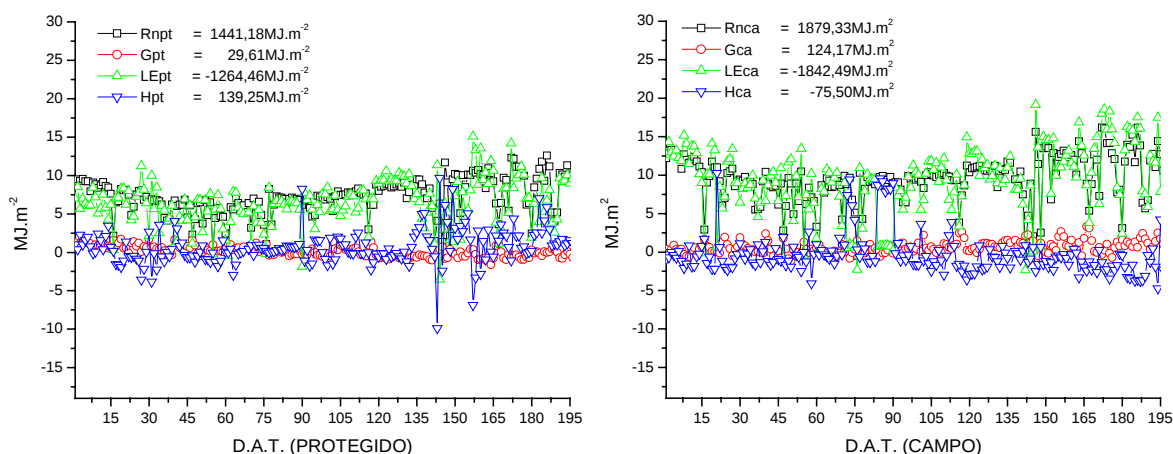


Figura 37 - Variação do Rn, do G, do LE e do H para as condições de cultivo protegido (a) e de campo (b), respectivamente, durante o ciclo da cultura do pimentão.

O Rn ao longo do ciclo no cultivo protegido, apresentou um valor integrado menor, devido à transmissividade de onda curta do PEBD claro utilizado ser de 68,81% da radiação solar total incidente. O G ao longo do dia no cultivo protegido apresentou

um valor integrado menor ( $29,61\text{MJ.m}^{-2}$ ), e o cultivo de campo apresentou um valor integrado maior ( $124,17\text{MJ.m}^{-2}$ ), indicando que ocorreu menor perda de calor no solo no cultivo protegido. Em primeiro lugar, isto pode estar associado um maior sombreamento do solo nessa condição, sendo que o sensor se encontrava instalado na linha de plantio da cultura, e também pela característica do PEBD de diminuir  $R_g$ , causando assim uma diminuição da quantidade de  $R_n$  disponível na superfície do solo; e em segundo lugar, devido ao efeito da contra-irradiação do PEBD, sendo que recebeu em média menos  $R_g$  durante todo o ciclo em relação ao cultivo de campo. Observou-se ainda ao longo do ciclo, para as duas condições de cultivo, que a demanda de energia para o LE superou a demanda para o H, sendo que no cultivo de campo essa demanda foi maior devido aos maiores efeitos convectivo e advectivo.

Observa-se que os valores de LE foram em média, ao longo do ciclo da cultura, inferiores ao  $R_n$  em 13,98 e 2,00%, para os cultivos protegido e de campo, respectivamente, indicando que no cultivo protegido o calor utilizado para a evaporação da água foi menor em relação ao disponível ( $R_n$ ), caracterizando uma maior economia de água pela cultura. Com relação ao H, ao longo do ciclo no cultivo de campo, os valores foram em média negativos, cedendo o calor sensível da cultura para o aquecimento da atmosfera, enquanto que no cultivo protegido a atmosfera se encontrava mais aquecida que a cultura.

Houve, em algumas ocasiões, a diminuição de todas as componentes do balanço de energia, decorrente da acentuada redução da energia disponível ao sistema, para ambos os cultivos. É importante notar que a variação de  $R_g$  depende da época do ano, ou seja, declinação do Sol, mostrando-se em função disto que houve um decréscimo da quantidade de  $R_g$  até os 100 d.a.t. e após um aumento considerável, para ambos os cultivos, com exceção é claro dos dias nublados.

#### **4.13 Fluxo de calor latente equivalente em milímetros (ET) durante o ciclo da cultura de pimentão**

Os valores médios diários e totais do fluxo de calor latente equivalente em milímetros (ET) ao longo do ciclo da cultura são apresentados no Quadro 15, para os dois cultivos. A ET encontrada para o cultivo protegido foi de 509,60mm, e com um valor de 741,11mm para o cultivo de campo, havendo portanto, um aumento percentual de 45,43% do cultivo protegido para o cultivo de campo, mostrando que em condição de cultivo protegido o

calor cedido para a evaporação foi menor, o que pode estar associada a uma parcial opacidade do filme plástico à radiação e à redução da ação dos ventos nesse cultivo, os quais são os principais fatores de demanda evaporativa da atmosfera, conforme Montero et al. (1985). Esse percentual encontrado é confirmado por alguns autores, tais como, Van der Post et al. (1974), Montero et al. (1985), Martins (1992), Stanghellini (1993) e Farias et al. (1994). A cultura apresentou valores médios diários de ET igual a 2,60 mm.d<sup>-1</sup> e de 3,78 mm.d<sup>-1</sup> para os cultivos protegido e de campo, respectivamente.

A eficiência do uso da água para a produtividade de frutos foi feita através da relação entre o peso dos frutos em kg.m<sup>-2</sup> e o fluxo de calor latente equivalente em milímetros (ET), durante o ciclo da cultura do pimentão, obtendo-se o seu valor em kg.m<sup>-2</sup>.mm<sup>-1</sup>, conforme Quadro 15.

Quadro 15 – Fluxo de calor latente equivalente em milímetros (ET), produtividade e eficiência do uso da água (e.u.a.) ao longo do ciclo da cultura de pimentão.

| Condições de Cultivo | ET (mm) |      | Produtividade Kg.m <sup>-2</sup> | e.u.a. kg.m <sup>-2</sup> .mm <sup>-1</sup> |
|----------------------|---------|------|----------------------------------|---------------------------------------------|
|                      | ciclo   | dia  |                                  |                                             |
| Protegido            | 509,60  | 2,60 | 9,29                             | 0,018                                       |
| Campo                | 741,11  | 3,78 | 6,66                             | 0,009                                       |

Observa-se que para o cultivo protegido a eficiência do uso da água foi maior (0,018kg.m<sup>-2</sup>.mm<sup>-1</sup>) e menor no cultivo de campo (0,009kg.m<sup>-2</sup>.mm<sup>-1</sup>), pois o cultivo protegido apresentou uma maior produtividade de frutos para um menor consumo de água ao longo do ciclo da cultura do pimentão, com um aumento percentual de 100% na eficiência do uso da água. Esses resultados mostram que tanto a produtividade em frutos quanto a quantidade de água liberada para a atmosfera pela cultura, são dependentes do balanço de energia, e portanto, a eficiência do uso da água é dependente da distribuição de energia dentro da cultura, caracterizando o cultivo protegido como uma forma de racionalizar o uso da água.

## 4.14 Correlações

### 4.14.1 Temperatura e umidade relativa do ar

Para a verificação do funcionamento do conjunto psicrométrico nas condições de cultivo protegido e de campo, foi feita uma comparação de suas medidas obtidas com as de um sensor resistivo para a temperatura do ar e capacitivo para a umidade relativa do ar (Vaisala, modelo HMP45C), apesar desse sensor não ser a melhor referência para essas comparações, pois apresenta problemas em condições de elevada umidade relativa do ar, relatados por Marin et al. (2000).

Para isto utilizou-se as medidas do nível 3 do conjunto psicrométrico, o qual se encontrava numa altura de 2 m igual a do sensor HMP45C (item 3.11.8.1 - Figura 9), para ambos os cultivos. Na Figura 38 vê-se a correlação entre os sensores utilizando-se dados do período do cultivo de pimentão, para valores de temperatura do ar, com altos valores de  $R^2$ , de 0,9833 para o cultivo protegido e de 0,9732 para o de campo.

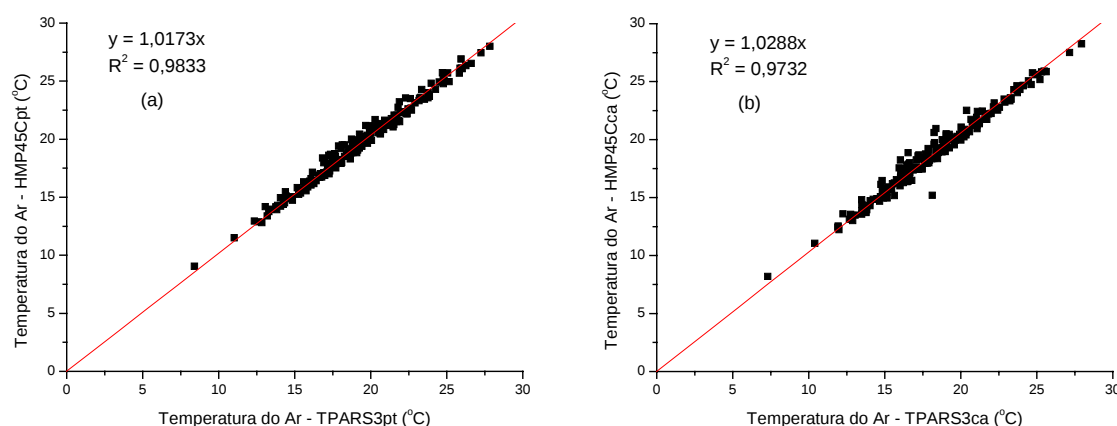


Figura 38 - Correlação entre os valores de temperatura do ar obtidos a partir do conjunto psicrométrico e do sensor HMP45C, para as condições de cultivo protegido (a) e de campo (b).

A Figura 39 mostra a correlação entre os sensores para valores de umidade relativa do ar, com altos valores de  $R^2$ , de 0,9562 para o cultivo protegido e de 0,9319 para o de campo.

Nota-se portanto, que o conjunto psicrométrico de termopares apresentou boa concordância com o sensor HMP45C, para a temperatura e umidade relativa do ar, para ambos os cultivos, sendo importante destacar que houve uma tendência para

subestimativa dos valores de temperatura do ar em torno de 1,73% e de 2,88%, para os cultivos protegido e campo, respectivamente; e uma superestimativa dos valores de umidade relativa do ar em torno de 1,37% para o cultivo protegido e uma subestimativa dos valores de umidade relativa do ar em torno de 1,03% para o cultivo de campo; como indica o coeficiente angular (b) de cada correlação. Marin et al. (2000) comparando as medidas de um psicrômetro ventilado confeccionado com baixo custo de termopares de Cu-Co com um sensor comercial Vaisala, conseguiu boa precisão das medidas, com coeficiente de correlação de 0,98, apresentando dados de umidade relativa do ar mais coerentes que os do sensor Vaisala, principalmente em condições extremas de umidade. Os autores Grodzki et al. (1999) recomendam o uso de psicrômetro ventilado confeccionado com baixo custo de termopares de Cu-Co em medidas micrometeorológicas de fluxo de calor sensível com bom nível de precisão.

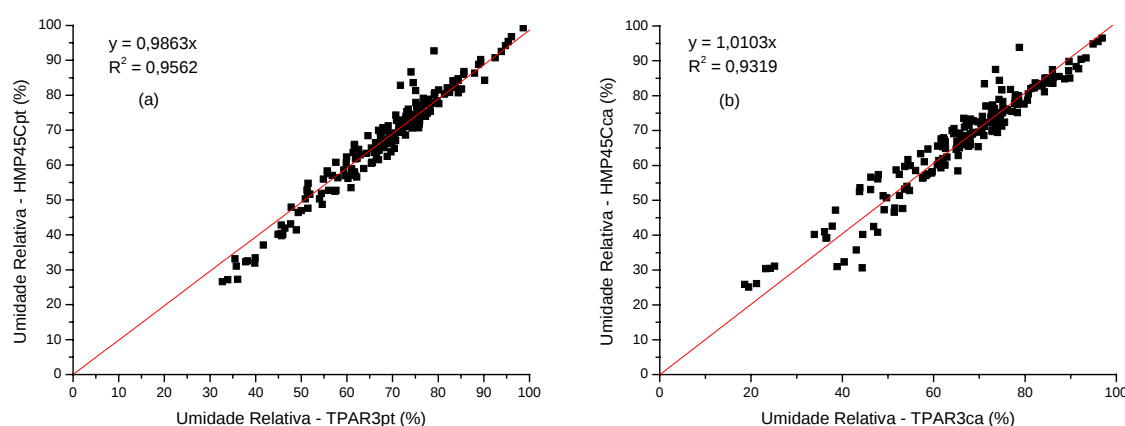


Figura 39 - Correlação entre os valores de umidade relativa do ar obtidos a partir do conjunto psicrométrico e do sensor HMP45C, para as condições de cultivo protegido (a) e de campo (b).

Portanto, o conjunto psicrométrico em ambos os cultivos, possibilitou obter boas estimativas dos fluxos de calor latente e sensível na aplicação do balanço de energia pela razão de Bowen.

#### 4.14.2 Velocidade do vento

Através dos valores médios de velocidade do vento em cultivo de campo não foi possível encontrar uma correlação adequada para o cultivo protegido. Portanto,

na utilização dessa correlação, é preciso estar atento, pois a equação encontrada superestima os valores de velocidade do vento do cultivo protegido em torno de 9,57%, com valores de  $R^2$  baixo, de 0,4470, não sendo assim recomendada, como indica o coeficiente angular da reta (b) (Figura 40), pois essa correlação confirma que o elemento velocidade do vento é uma variável aleatória.

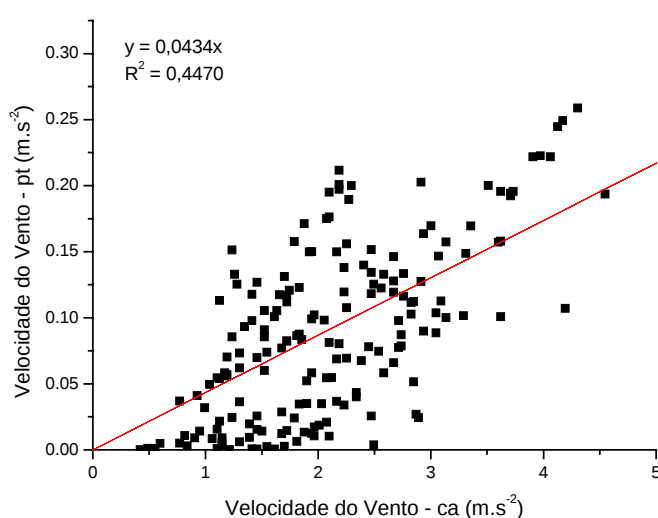


Figura 40 - Correlação entre os valores de velocidade do vento do cultivo protegido (pt) e a velocidade do vento em cultivo de campo (ca).

#### 4.14.3 Radiações solar global e refletida, e saldo de radiação

Foram feitas correlações entre as componentes da radiação solar utilizando-se de dados ao longo do ciclo do cultivo de pimentão, relacionando-se a radiação global ( $R_g$ ) em cultivo protegido (pt) em função da  $R_g$  em cultivo de campo (ca) (Figura 41(a)), a radiação refletida ( $R_r$ ) em cultivo protegido em função da  $R_g$  em cultivo de campo (Figura 41(b)), e o saldo de radiação ( $R_n$ ) em cultivo protegido em função da  $R_g$  em cultivo de campo (Figura 41(c)), utilizando-se de regressão linear simples.

Observa-se que as correlações entre  $R_{gpt}$  e  $R_{gca}$ ,  $R_{rpt}$  e  $R_{gca}$ , e  $R_{npt}$  e  $R_{gca}$ , mostraram valores de  $R^2$ , de 0,9780, 0,9463 e 0,9610, respectivamente. Nota-se que a partir da relação  $R_{gpt}$  e  $R_{gca}$ , os valores de  $R_{gpt}$  apresentam uma tendência de subestimativa dos seus valores em torno de 2,99%, na relação  $R_{rpt}$  e  $R_{gca}$ , os valores de  $R_{rpt}$  apresentam

uma tendência de subestimativa dos seus valores em torno de 9,03%, e na relação  $R_{npt}$  e  $R_{gca}$ , os valores de  $R_{npt}$  apresentam uma tendência de subestimativa dos seus valores em torno de 5,40%, como indica o coeficiente angular (b) de cada correlação.

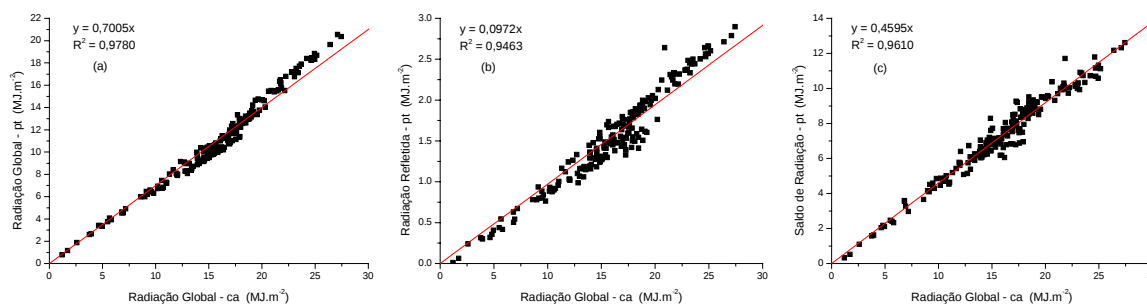


Figura 41 - Correlação entre  $R_{gpt}$  e  $R_{gca}$  (a),  $R_{rpt}$  e  $R_{gca}$  (b), e  $R_{npt}$  e  $R_{gca}$  (c), para os cultivos protegido (pt) e de campo (ca).

#### 4.14.4 Balanço de energia

Foram feitas correlações entre os componentes do balanço de energia para avaliar essas medidas, relacionando-se a soma entre os fluxos de calor latente e sensível em função da energia disponível ( $R_n - G$ ), para os cultivos protegido e de campo, utilizando-se de regressão linear simples.

Na Figura 42(a) vê-se a correlação entre  $(LE+H)$  e  $(R_n - G)$  utilizando-se dados do período do cultivo de pimentão, com valores de  $R^2$ , de 0,9913 para o cultivo protegido. Nota-se que a partir dessa relação  $(LE+H/R_n - G)$  que os fluxos de calor latente e sensível apresentam uma tendência de subestimativa dos seus valores em torno de 0,79% para o cultivo protegido, como indica o coeficiente angular (b) da correlação.

A partir da Figura 42(b) vê-se a correlação entre  $(LE+H)$  e  $(R_n - G)$  utilizando-se dados do período do cultivo de pimentão, com valores de  $R^2$ , de 0,9905 para o cultivo de campo. Para o cultivo de campo essa relação  $(LE+H/R_n - G)$  mostrou que os fluxos de calor latente e sensível apresentam uma tendência de superestimativa dos seus valores em torno de 0,02% para o cultivo de campo, como indica o coeficiente angular (b) da correlação.

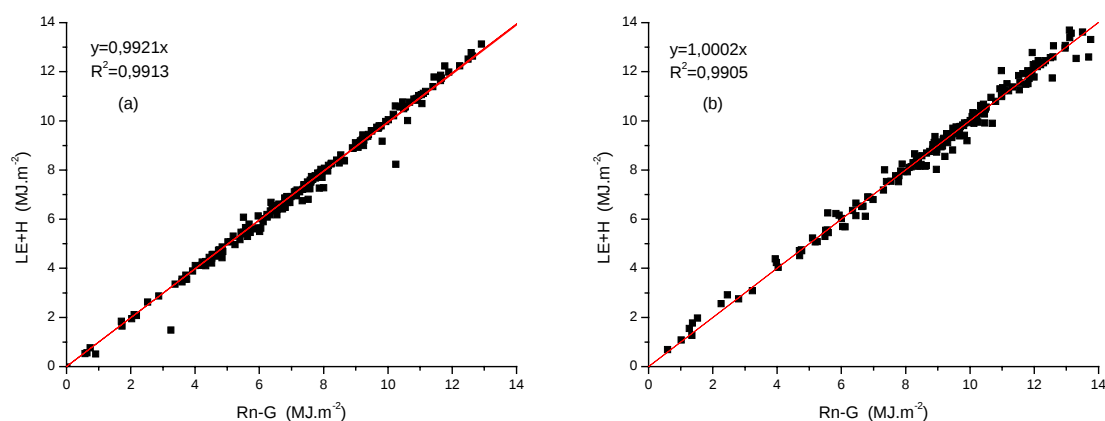


Figura 42 - Correlação entre a energia disponível ( $Rn-G$ ) e os fluxos de calor latente e sensível ( $LE+H$ ) para os cultivos protegido (a) e de campo (b).

As correlações encontradas indicam validade dessas medidas, pois apresentaram  $R^2$  de 0,9913 e 0,9905 para os cultivos protegido e de campo, respectivamente, e também devido às restrições físicas dos sensores utilizados nessas medidas, pois segundo os autores Silva et al. (1999) encontraram valores de 0,89 e 0,92 para a relação ( $LE+H/Rn-G$ ) para dois dias distintos em superfície gramada, e Prueger et al. (1998) encontraram um valor de 0,85 para a mesma relação, com coeficientes de determinação superiores a 0,90.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e analisados ao longo do ciclo da cultura de pimentão híbrido Elisa, sob variadas condições de cobertura do céu e área foliar da cultura, concluímos para o cultivo protegido com cobertura de polietileno de baixa densidade claro e com laterais de sombrite 50%, para as condições de Botucatu, SP, que:

- A cultura de pimentão teve um conforto térmico maior nessa condição com relação a temperatura do solo e velocidade do vento, apresentando temperaturas médias diárias do solo maiores na profundidade de 0,10m, e velocidade do vento menor (5,24% da ocorrida no cultivo de campo); e um desconforto com relação aos valores máximos diários de temperatura do ar apresentaram-se superiores em 3,01°C, e os valores mínimos diários de umidade relativa do ar inferiores em 3,69% em relação ao cultivo de campo, pois estes elementos climáticos propiciaram condições favoráveis para o desenvolvimento do fungo *Oidiopsis sicula*, o qual causou danos irreparáveis no desenvolvimento e produtividade da cultura, pois até então não havia nenhum produto químico de controle efetivo e de carência curta (7 dias) registrado no Ministério da Agricultura para a cultura de pimentão;
- Mesmo apresentando valores das radiações solar global e refletida inferiores em 44,10% e 45,96%, respectivamente, e ligeiramente superiores para a radiação solar difusa em 7,40%

com relação ao cultivo de campo, foi mais eficiente na fotossíntese devido provavelmente ao efeito multidirecional da radiação solar difusa e da reflexão da radiação de ondas curtas no seu interior, causada pelo polietileno de baixa densidade claro utilizado como cobertura; e apresentando conseqüentemente valores de balanço de ondas curtas e longas inferiores em 43,80% e 83,40%, respectivamente;

- Em ambos os cultivos, o fluxo de calor latente de vaporização superou a demanda do fluxo de calor sensível, sendo que o cultivo protegido apresentou os menores fluxos de calor latente de vaporização para a atmosfera e de calor do solo para o sistema, e com um maior fluxo de calor sensível para o sistema, resultando numa menor transferência de energia da cultura para a atmosfera e num maior aquecimento da cultura;
- Apresentou um fluxo de calor latente de vaporização equivalente em milímetros inferior em 45,43% em relação ao cultivo de campo, demonstrando maior eficiência do uso da água;
- Apesar do cultivo protegido ter tido menos energia líquida disponível para o crescimento e desenvolvimento da cultura, apresentou um acréscimo maior na altura, na matéria seca total, no índice de área foliar e na produtividade dos frutos com uma qualidade superior, mostrando-se mais eficiente na conversão desta energia em MJ por kg de fruto produzido em  $1\text{m}^2$ ; sendo que essas diferenças de crescimento e desenvolvimento da cultura foram pequenas, comprovado pela semelhança nos valores encontrados dos coeficientes de reflexão;
- Mesmo apresentando uma maior eficiência do uso da água e da energia líquida disponível, a cultura de pimentão no cultivo protegido não teve um desenvolvimento e uma produtividade esperada (2 a 3 vezes maior com relação a cultivo de campo), pois o período de condução do experimento apresentou valores mínimos e médios diários de temperatura e umidade relativa do ar inferiores quando comparado aos valores normais da Estação Meteorológica Convencional em condições de campo (período de 1971 a 1998), e associado aos ventos fortes e constantes, pois o ambiente protegido continha nas laterais sombrite 50%, não bloqueando totalmente esses ventos frios, caracterizou um menor desenvolvimento vegetativo e formação de flores reduzida com o comprometimento da produtividade esperada da cultura em cultivo protegido.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFONSI, R.R., SANTOS FILHO, B.G., PEDRO JUNIOR, M.J., BRUNINI, O., CAMARGO, M.B.P. Balanço de energia em milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 21, n.12, p. 1233-1235, dez. 1986.
- ALPI, A., TOGNONI, F. *El cultivo en invernadero*. Lisboa: Presença, 1984. 196p.
- ALPI, A., TOGNONI, F. Cultivo en invernadero. 3ed. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 1991. 347p.
- AL-RIahi, M., AL-KARAGHOULI, A., HASSON, A.M., AL-KAYSSI, A.W. Relations between radiation fluxes of a greenhouse in semi-arid conditions. *Agriculture and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.44, n.3, p.329-38, 1988.
- ALVES, A.V., AZEVEDO, P.V. Balanço de radiação num cultivo de melão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.520-2.
- ALVES, A.V., AZEVEDO, P.V., SILVA, B.B. Balanço de energia e reflectância de um cultivo de melão. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.6, n.2, p.139-146, 1998.
- ANDRÉ, R.G.B. *Aspectos energéticos e hídricos da cultura do milho (Zea mays) na região de Jaboticabal, SP*. Jaboticabal, 1996. 96p. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista.

- ANDRÉ, R.G.B., VISWANADHAN, Y. Balanço de radiação em condições de solo nú e vegetado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2, 1982, Pelotas. *Anais...* Pelotas: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1982. p.355-67.
- ANDRÉ, R.G.B., VISWANADHAN, Y. Radiation balance of soybeans grown in Brazil. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.30, n.3, p.157-73. 1983.
- ANDRIOLLO, J.L., BURIOL, G.B., STRECH, N.A., FIORIN, J. Influência da proteção ambiental com estufa de polietileno sobre alguns parâmetros de crescimento e desenvolvimento do pimentão, em Santa Maria, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7, 1991, Viçosa. *Resumos...* Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1991. p.27-29.
- ANGUS, D.E., WATTS, P.L. Evapotranspiration – how good is Bowen ratio method. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.8, p.138-50, 1984.
- ARAÚJO, J.A.C., CASTELLANI, P.D. *Plasticultura*. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 186p.
- ASSIS, F.N., MENDEZ, M.E.G., MARTINS, S.R. et al. Balanço de radiação na cultura do sorgo sacarino, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.22, n.4, p.349-52, 1987.
- ASSIS, S.V. *Radiação solar em estufas de polietileno, nas orientações norte-sul e leste-oeste*. Botucatu, 1998. 81p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista.
- AYERS, R.S., WESTCOT, D.W. *A qualidade de água na agricultura*. Trad. de H.R. Gheyi, J.F. de Medeiros e F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (FAO: Estudos de Irrigação e Drenagem, 29)
- AZEVEDO, P.V., LEITÃO, M.M.V.B.R., RAO, T.R. Reflectância e requerimentos térmicos de um cultivo de algodão herbáceo irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7, 1991, Viçosa. *Resumos...* Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, Universidade Federal de Viçosa, 1991. p.39-41.
- AZEVEDO, P.V., LEITÃO, M.M.V.B.R., SOUZA, I.F., SOUSA, I.F., MACIEL, G.F. Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v.5, n.1, p403-10, 1990.

- BAILLE, A., BRUN, R. Le bilan énergétique de la serre 2: Les moyens de limiter les deperditions thermiques. In: *L'INRA et les cultures sous serre*. Paris: Institut Nacional de la Recherche Agronomique, 1983. p.55-65.
- BERGAMASCHI, H., OMETTO, J.C., VIEIRA, H.J., ANGELOCCI, L.R., LIBARDI, P.L. Deficiência hídrica de feijoeiro II. Balanço de energia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.23, n.7, p.745-57, 1988.
- BERNARD, E.A. Theorie et mesure de l'évapotranspiration. Paris: UNESCO, 1965. (Arid zone research)
- BLACKWELL, M.J. *Measurement of natural evaporation: comparison of gravimetric and aerodynamic methods*. Paris: UNESCO, 1965. (Arid Zone Research, 25)
- BLAD, L.B., BAKER, D.G. Reflected radiation from a soybean crop. *Agronomy Journal*, Madison, v.64, p.277-80, 1972.
- BLISKA JUNIOR, A., HONÓRIO S.L. Características óticas de materiais de cobertura de viveiros e estufas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, 1994, Campinas. *Programas e Resumos...* Campinas: UNICAMP, 1994, p.284.
- BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical Review*, New York, v.27, p.779-787, 1926.
- BUDIKO, M.I. *Climate and life*. New York: Academic Press, 1974. 507p.
- BUREK, S.A.M., NORTON, B., PROBERT, S.D. Transmission and forward scattering of insolation through plastic (transparent and semi-transparent) materials. *Solar Energy*, v.42, p.457-75, 1989.
- BURIOL, G.A., SCHNEIDER, F.M., STEFANEL, V., ANDRIOLO, J.L., MEDEIROS, S.L.P. Modificação na temperatura mínima do ar causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, p.43-9, 1993.
- BRIASSOULIS, D., WAAIJENBERG, D., GRATRAUD, J., VON ELSNER, B. Mechanical properties of covering materials for greenhouses: part1, general overview. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.67, n.2, p.81-96, 1997.
- CAIXETA, T.J. *Estudo comparativo entre sistemas de irrigação por sulcos e gotejamento e efeito da lâmina de água e frequência de irrigação por gotejamento na cultura do pimentão*. Viçosa, 1978. 60p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

- CAIXETA, T.J. Irrigação nas culturas de pimentão e pimenta. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.10, n.113, p.35-9, 1984.
- CAMACHO, M.J., ASSIS, F.N., MARTINS, S.R., MENDEZ, M.E.G. Avaliação de elementos meteorológicos em estufa plástica em Pelotas, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.3, p.19-24, 1995.
- CAMARGO, A.M.M.P., CAMARGO FILHO, W.P. Área cultivada e regiões produtoras de hortaliças em São Paulo, 1995/96. *Horticultura Brasileira*, v.16, n.1, 1998.
- CAMARGO, L.S. *As hortaliças e seu cultivo*. 2ed. Campinas: Fundação Cargill, 1984. 448p.
- CAMARGO FILHO, W.P., MAZZEI, A.R. Hortaliças prioritárias no planejamento da produção orientada: estacionalidade da produção e dos preços. *Informe Econômico*, v.24, p.9-54, 1994.
- CAMPBELL SCIENTIFIC, INC. *21X Micrologger: operator's manual*. Revision: 3/96. Logan, Utah: Copyright©, 1984-1996.
- CASALI, V.W.D., COUTO, F.A.A. Origem e botânica de *Capsicum*. *Informe Agropecuário*, v.10, n.113, p.8-10, 1984.
- CERMEÑO, Z.S. *Estufas: Instalação e manejo*. Lisboa: Litexa, 1990. 355p.
- CERMEÑO, Z.S. *Construcción de invernaderos*. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 1994. 445p.
- CHANG, J. *Climate and agriculture: an ecological survey*. Chicago: Aldine, 1977. 304p.
- CHEE, K.H. et al. Effect of rain-protected cultivation on the production of sound fruit vegetables in Highland areas. *Research Reports of the Rural Development Administration – Horticulture*, v.30, p.31-7, 1988.
- CRITTEN, J.L. A review of the light transmission into greenhouse crops. *Acta Horticulturae*, Wageningen, v.328, p.9-31, 1993.
- CUNHA, A.R., KLOSOWSKI, E.S., GALVANI, E., ESCOBEDO, J.F., MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, 1999, Botucatu. *Anais...* Botucatu: UNESP-FCA, 1999, p.487-91.
- CUNHA, G.R., BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em alfafa. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.2, p.9-16, 1994.

- CUNHA, G.R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A., MATZENAUER, R. Balanço de energia em cultivo de milho. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.4, n.1, p.1-14, 1996.
- CUNHA, G.R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A., MATZENAUER, R. Balanço de energia em cultura de milho: estudo de casos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6, 1989, Maceió. *Anais...* Maceió: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. p.417-26.
- DAVIES, J.A., BUTTIMOR, P.H. Reflection coefficients, heating coefficients and net radiation at Sincoe, Sourthern Ontario. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.6, n.5, p.373-86, 1969.
- DEACON, E.L. The measurement and recording of the heat flux into the soil. *Quart.J.R.Met.Soc.*, v.76, p.479, 1950.
- DENMEAD, O.T., McILROY, I.C. Measurements of non-potential evaporation from wheat. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.7, n.4, p.285-302, 1970.
- DISTRITO FEDERAL (Estado). Emater. *Boletim do núcleo de agronegócios da coordenadoria de operações*. Distrito Federal, 01-24/08/1999. p.1-2.
- DOORENBOS, J., KASSAN, A.H. *Efeito da água no rendimento das culturas*. Trad. de H.R. Gheyi, A.A. de Sousa, F.A.V. Damasceno e J.F. de Medeiros. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (FAO: Estudos de Irrigação e Drenagem, 33)
- DUNCAN, G.A., WALKER, J.N. Selection of greenhouse covering materials. *Transation ASAE*, v.18, p.703-6, 1975.
- EDWARDS, R.I., LAKE, J.V. Transmission of solar radiation in a large-span east-west glasshouse. *Journal Agric. Eng. Res.*, v.9, p.245-9, 1964.
- EDWARDS, R.I., LAKE, J.V. Transmission of solar radiation in a large-span east-west glasshouse II. *Journal Agric. Eng. Res.*, v.10, p.125-31, 1965.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.
- EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: CNPS, 1999. 412p.
- FARIA JUNIOR, M.J.A. *Avaliação de diferentes arquiteturas de estufas, coberturas do solo com filme plástico, em híbridos de pimentão (Capsicum annuum L.)*. Jaboticabal, 1997.

- 102p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista.
- FARIA JUNIOR, M.J.A., SENO, S., ARAUJO, J.A.C., BORRMANN, E.G.V., YOSHIDA, E.S. Avaliação de cultivares de alface (*Lactuca sativa*) e de dois modelos de estufa com cobertura plástica, durante o verão, em Ilha Solteira – SP. *Cultura Agrônômica*, Ilha Solteira, v.2, n.1, p.119-28, 1993.
- FARIAS, J.R.B. BERGAMASCHI, S.R., BERLATO, M.A., OLIVEIRA, A.C.B. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso de estufa plástica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, p.51-62, 1993a.
- FARIAS, J.R.B., BERGAMASCHI, S.R., BERLATO, M.A., OLIVEIRA, A.C.B. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, p.31-6, 1993b.
- FARIAS, J.R.B., BERGAMASCHI, H., MARTINS, S.R. Evapotranspiração no interior de estufas plásticas. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.2, p.17-22, 1994.
- FEUILLOLEY, P., GUILLAUME, S., ISSANCHOU, G., DAVENEL, A. Determination of thermal transparency of plastics material for covering greenhouses. *Acta Horticultural*, n.281, p.57-66, 1990.
- FILGUEIRA, F.A.R. *Manual de olericultura*. 2ed. São Paulo: Agrônômica Ceres, 1982. v.2, 357p.
- FONTANA, D.C., BERLATO, M.A., BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em soja irrigada e não irrigada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 26, n.3, p. 403-410, 1991.
- FONTANA, D.C., CUNHA, G.R., BERGAMASCHI, H., MATZENAUER, R., BUENOS, A.C. Balanço de radiação e balanço de energia em cultura de girassol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6, 1989, Maceió. *Anais...* Maceió: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. p.313-21.
- FONTES, P.C.R. Produtividade do tomateiro:  $\text{kg.ha}^{-1}$  ou  $\text{kg.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ ? *Horticultura Brasileira*, v.15, n.2, p.83-4, 1997.
- FRISINA, V.A. *Otimização de um albedômetro e aplicação no balanço de radiação e energia da cultura de alface (*Lactuca sativa* L.) no exterior e interior de estufa de*

- polietileno*. Botucatu, 1998. 86p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas - Universidade Estadual Paulista.
- FRITSCHEN, L.J. Construction and evolution of a miniature net radiometer. *Journal of Applied Meteorology*, v.2, p.165-72, 1963.
- FRITSCHEN, L.J. Miniature net radiometer improvements. *Journal Applied of Meteorology*, v.4, p.525-32, 1965.
- FRITSCHEN, L.J. Evapotranspiration rates of field crops determined by the Bowen ratio method. *Agronomy Journal*, Madison, v.58, n.3, p.339-42, 1966.
- FRITSCHEN, L.J. Net and solar radiation relations over irrigated field. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.4, n.1, p.55-62, 1967.
- FUCHS, M., TANNER, C.B. Error analysis of Bowen ratios measured by differential psychrometry. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.7, n.4, p.329-34, 1970.
- FUNK, J.P. Improved polyethylene-shielded net radiometer. *Review Science Instrumental*, v.26, p.267-70, 1959.
- FUNK, J.P. A net radiometer designed for optimum sensitivity and a ribbon thermopile used in a miniature version. *Journal Geophysical Resource*, v.67, p.2753-60, 1962.
- FUNK, J.P. Direct measurements of radiative heat exchange of the human body. *Nature*, v.201, p.904-5, 1964.
- GALVANI, E., ESCOBEDO, J.F., AGUIAR E SILVA, M.A., KLOSOWSKI, E.S. Balanço de energia em cultura de pepino (*Cucumis sativus* L.) em meio protegido por polietileno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1999, Florianópolis. CD... Florianópolis: Epagri, 1999.
- GALVANI, E., ESCOBEDO, J.F., PEREIRA, A.B. Balanço de radiação e fluxo calor no solo em estufas de polietileno. In: CONGRESSO IBÉRICO DE ENERGIA SOLAR, 10, CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ENERGIA SOLAR, 5, 2000, São Paulo. CD... São Paulo: NUTAU, 2000.
- GATES, D.M. Heat, radiant and sensible: radiant energy, its receipt and disposal. *Agricultural Meteorology: meteorological monographs*, Boston (Mass.), v.6, n.28, p.1-26, 1965.

- GEIGER, R. *Manual de microclimatologia: o clima da camada de ar junto ao solo*. 3<sup>a</sup> ed., Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1961. 556p.
- GIACOMELLI, G.A., ROBERTS, W.J. Greenhouse covering systems. *HortTechnology*, v.3, p.50-8, 1993.
- GIER, J.L., DUNKLE, R.V. Total hemispherical radiometers. *Trans. Am. Inst. Elect.Engrs.*, New York, v.70, p.339-43, 1951.
- GIJZEN, H. Crop growth. In: *Greenhouse climate control. An integrated approach*. Wageningen, 1995. p.15-124.
- GLOVER, J. Net radiation over tall and short grasses. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.10, n.4-5, p.455-9, 1972.
- GODBEY, L.C., BOND, T.E., ZORNING, H.F. Transmission of solar and long-wavelength energy by materials used as covers for solar collectors and greenhouses. *Transation ASAE*, v.22, p.1137-44, 1979.
- GRODZKI, L., BRENNER, N.L., SCOTTI, C.A. Estudo do ambiente em estufas plásticas na região de Curitiba, PR. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.9, p.55, 1991.
- GRODZKI, L., DIAS, N.L.C., CARAMORI, P. Psicrômetro ventilado para medidas micrometeorológicas de campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1999, Florianópolis. CD... Florianópolis: Epagri, 1999.
- HAAG, H.P., HOMA, P., KIMOTO, T. Nutrição mineral de hortaliças – absorção de nutrientes pela cultura do pimentão. *O Solo*, Piracicaba, v.62, n.2, p.7-11, 1970.
- HARBECK, G. E.J. Status of evaporation measurements in the United States. *Pubs. Int. Ass. Scient. Hydrol.*, v.78, p.285-92, 1968.
- HELDWEIN, A.B., STRECK, N.A., BURIOL, G.A., SCHNEIDER, F.M., ESTEFANEL, V., DALMAGO, G.A. Efeito da cobertura plástica sobre a temperatura mínima do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9, Campina Grande. *Anais...* Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995, p.304-6.
- HERTER, F.G., REISSER JUNIOR, C. Balanço térmico em estufas plásticas, RS. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.5, n.1, p.60, 1987.

- HORINO, Y., MAKISHIMA, N., REIS, N.V.B., CORDEIRO, C.M.T., REIFSCHNEIDER, F.J.B. Produção de tomate e pepino sob cobertura plástica para proteção contra chuva. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.5, n.1, p.61, 1987.
- JACOBS, A.F.G., VAN PUL, W.A.J. Seasonal changes in the albedo of a maize crop during two seasons. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.49, n.4, p.351-60, 1990.
- JUNQUEIRA, A.H. Hortaliças, novos caminhos no ambiente protegido. In: *Anuário da agricultura brasileira*. São Paulo: Editora Agros, 1999. p.35-8.
- KAI, E.S., SILVA, I.J.O., PIEDADE, S.M.S. Avaliação de diferentes filmes plásticos para a cobertura de estufas quanto a passagem de luminosidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, 1999, Florianópolis. CD-ROM... Florianópolis: Epagri, 1999.
- KALMA, J.D. The radiation balance of tropical pasture, II. Net all-wave radiation. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.10, p.261-75, 1972.
- KALMA, J.D., STANHILL, G. The radiation climate of an irrigated orange plantation. *Solar Energy*, v.12, p.491-508, 1969.
- KING, K.M. Effects of soil, plant and meteorological factors on evapotranspiration. *R.Met.Soc.Can.Branch*, v.8, n.4, 1957.
- KITTAS, C., BOULARD, T., MERMIER, M., PAPADAKIS, G. Wind induced air exchange rates in a greenhouse tunnel with continuous side openings. *J. Agric. Eng. Res.*, v.65, p.37-49, 1996.
- KONDRATYEV, K.Y. *Global atmospheric research program and radiation factors of weather on climate. Radiation including satellite techniques*. Geneve: Secretariat of the World Meteorological Organization, 1970. (WMO Technical note, 104, WMO, 248. pp.136)
- KOZAI, T. Direct solar light transmission into single-span greenhouses. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.18, n.5, p.327-38, 1977.
- KOZAI, T., KIMURA, M. Direct solar light transmission into multi-span greenhouses. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.18, n.5, p.339-49, 1977.
- LEITÃO, M.M.V.B.R., AZEVEDO, P.V., COSTA, J.P.R. Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada, nas condições semi-áridas do nordeste do Brasil. In:

- CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6, 1990, Salvador. *Anais...* Salvador: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1990. p.27-32.
- LEMON, E., STEWART, D.W., SHAWCROFT, R.W. The sun's work in a cornfield. *Science*, v.174, p.371-8, 1971.
- LEVIT, G.J., GASPAR, R. Energy budget for greenhouses in humid temperature climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.44, p.241-54, 1988.
- LIMA, N.G.F. Influência da temperatura e umidade relativa do ar no comportamento da cultura do pepino em estufa. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.6, n.1, p.61, 1988.
- LOPES, P.M.O., SILVA, B.B., TEIXEIRA, A.H.C., AZEVEDO, P.V., RODRIGUES, V.P.S., SOARES, J.M., SOBRINHO, J.E. Análise de erros na obtenção da evapotranspiração pelo método do balanço de energia em mangueira irrigada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1999, Florianópolis. CD... Florianópolis: Epagri, 1999.
- LOURENCE, F.J., PRUITT, W.O. Energy balance and water use of rice grown in central California. *Agronomy Journal*, Madison, v.63, n.6, p.827-32, 1971.
- MARIN, F.R., ANGELOCCI, L.R., VILLA NOVA, N.A., COELHO FILHO, M.A. Construção de psicrômetro de termopar de baixo custo e verificação de seu desempenho em condições de campo. In: REUNIÓN ARGENTINA DE AGROMETEREOLOGÍA, 8, LA AGROMETEREOLOGÍA HACIA EL SIGLO, 21, 2000, Mendoza. CD... Mendoza, Argentina, 2000.
- MATALLANA, A., MONTERO, J.I. *Invernaderos, diseño, construccion y climatizacion*. 2ed., Madrid: Mundi-Prensa, 1995. 55p.
- MARTALERZ, J.W. *The greenhouse enviroment*. New York: Jonh Willy, 1977. 629p.
- MARTINEZ GARCIA, P.F. *Características climáticas de los invernaderos de plástico*. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias – INIA, 1978. 48p. (Hoja Tecnica, 19)
- MARTINS, G. *Uso da casa-de-vegetação com cobertura plástica na tomaticultura de verão*. Jaboticabal, 1992. 65p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista.
- MARTINS, S.R. et al. Caracterização climática de estufa tipo capela em Pelotas (RS). In: ENCONTRO DE HORTALIÇAS DA REGIÃO SUL, 8, ENCONTRO DE

- PLASTICULTURA DA REGIÃO SUL, 5, 1992, Porto Alegre. *Resumos...* Porto Alegre: SOB/UFRS, 1992, p.53.
- MASTEKBAYEVA, G.A.; KUMAR, S. Effect of dust on the transmittance of low density polyethylene glazing in a tropical climate. *Solar Energy*, v. 68, n.2, p.135-141, 2000.
- MEDEIROS, S.L.P. *Trocas verticais de energia e vapor d'água em cultura de milho (Pennisetum americanum L.) Leek*. Porto Alegre, 1990. 112p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MELO, A.M.T. *Análise genética de caracteres de fruto em híbridos de pimentão*. Piracicaba, 1997. 112p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo.
- MELO, J.M.D. *Desenvolvimento de um sistema para medir simultaneamente radiações global, difusa e direta*. Botucatu, 1993. 130p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista.
- MICROCAL SOFTWARE, INC. *Origin: data analysis and technical graphics software*. Version 6.0. Northampton, MA: Copyright©, 1999. 772p.
- MILLS, P.J.W., SMITH, I.E., MARAIS, G. A greenhouse design for a cool subtropical climate with mild winters based on microclimatic measurements of protected environments. *Acta Horticulturae*, Wageningen, n.281, p.83-94, 1990.
- MISTRIOTIS, A., ARCIDIANOCO, C., PICUNO, P., BOT, G.P.A., SCARASCIA-MUGNOZZA, G. Computational analysis of ventilation in greenhouses at zero-and-low-wind-speeds. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.88, p.121-35, 1997.
- MONTEITH, J.L. *Principles of environmental physics*. London: Edward Arnold, 1973. 241p.
- MONTEITH, J.L. The heat balance of soil beneath crops. In: *Climatology and microclimatology*. Paris: UNESCO, 1958. 151p.
- MONTEITH, J.L., SZEICZ, G. The radiation balance of bare soil and vegetation. *Q.J.R. Meteorological Society*, v.7, p.159-70, 1961.
- MONTEITH, J.L., SZEICZ, G. Radiative temperature in the heat balance of natural surface. *Q.J.R. Meteorological Society*, v.88, p.496-507, 1962.

- MONTERO, J.I., CASTILLA, N., GUTIERREZ de RAVÉ, E., BRETONES, F. Climate under plastic in the Almeria area. *Acta Horticulturae*, Wageningen, v.170, p.227-234, 1985.
- MOTA, F.S. Estimativas da radiação líquida em Pelotas, Rio Grande do Sul. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.28, n.10, p.1174-8, 1976.
- MOUGON, R., MOUGON, A., BEN MECHILA, N. Comparative study of greenhouse covers with and without thermal screens. *Plasticulture*, Paris, v.81, p.37-42, 1989.
- NETTO, A.J., AZEVEDO, P.V., SILVA, B.B., SOARES, J.M., CASTRO TEIXEIRA, A.H. Balanço de energia sobre um cultivo de videira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, 1999, Florianópolis. CD... Florianópolis: Epagri, 1999. p.2297-304.
- NIJSKENS, J., DELTOUR, J., COUTISSE, S., NISEN, A. Radiation transfer through covering materials, solar and thermal screens of greenhouses. *Agricultural and Forestry Meteorology*, Amsterdam, v.35, n.1-4, p.229-42, 1985.
- NISHIMURA, T., ALMEIDA, A., ANDRÉ, R.G.B., VOLPE, C.A., DELLA LIBERA, C.L.F., MALHEIROS, E.B. Balanço de energia numa cultura de milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4, 1985, Londrina. *Anais...* Londrina: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1985. p.83-92.
- NUEZ VIÑALS, F., GIL ORTEGA, R., COSTA GARCIA, J. Manejo en cultivo extensivo. In: *El cultivo de pimientos, chiles y ajies*. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. p.445-500.
- OGUNTOYINBO, J.S. Land-use and reflection coefficient (albedo) map for southern parts of Nigeria. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.13, n.2, p.227-37, 1974.
- OKAWA, C.M.P., GRODZKI, L. COSTA DIAS, N.L., ARAÚJO, A.A.M. Medições de fluxos de energia com métodos tradicionais e alternativos sobre uma cultura de soja em Santa Therezinha do Itaipu, PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, CONGRESSO DA FLISMET, 8, 1998, Brasília. CD... Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998.
- OLIVEIRA, M.R.V. O emprego de casas de vegetação no Brasil: vantagens e desvantagens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.30, n.8, p.1049-60, 1995.

- OLIVEIRA, M.R.V., FERREIRA, D.N.M., MIRANDA, R.G., MESQUITA, H.R. *Estufas, sua importância e ocorrência de pragas*. Brasília: EMBRAPA-CENARGEN, 1992. 7p. (Comunicado Técnico, 11)
- PÁDUA, J.G., CASALI, V.W.D., PINTO, C.M.F. Efeitos climáticos sobre o pimentão e pimenta. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.10, n.113, p.11-3, 1984.
- PANELO, M. Adaptabilidad de cultivares de pimiento a condiciones de cultivo protegido. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.13, n.1, 1995.
- PAPADAKIS, G., MERMIER, M., MENESES, J.F., BOULARD, T. Measurements and analysis of air exchange rates in a greenhouse with continuous roof and side opening. *Journal Agricultural Engineer Res.*, v.63, p.219-28, 1996.
- PASCHOLATI, S.F. Hospedeiro: mecanismo de resistência. In: *Manual de fitopatologia: princípios e conceitos*. 2.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. p.417-53.
- PASCHOLATI, S.F., LEITE, B. Mecanismos bioquímicos de resistência às doenças. *Revisão Anual de Patologia de Plantas*, Passo Fundo, v.4, p.1-52, 1994.
- PASQUILL, F. Eddy diffusion to water vapour and heat near the ground. *Proceedings Royal the Society Serv.A.*, v.198, p.116, 1949.
- PEDRO, F.R. *Láminas de polietileno y copolímero EVA para usos en agricultura*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca Y Alimentacion, 1987. 20p. (Hojas divulgadoras, 2)
- PEDRO, F.R., VICENTE, L.M.M. *Aplicación de los plásticos en la agricultura*. 2ed., Madrid: Mundi-Prensa, 1988. 573p.
- PEDRO JUNIOR, M.J. *Balanço de energia em soja (Glycine max L.)*. Piracicaba, 1977. 82p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo.
- PEDRO JUNIOR, M.J., VILLA NOVA, N.A. Balanço de energia em soja (*Glycine max L. Merr*). *Turrialba*, v. 31, n.4, p.309-312, 1981.
- PEÑUELAS, J., SAVÉ, R., MARFÀ, O., SERRANO, L. Remotely measured canopy temperature of greenhouse strawberries as indicator of water status and yield under mild and very mild water stress conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.58, n.1-2, p.63-77, 1992.

- PEREIRA, A.L. *Cultura do pimentão*. Fortaleza: Departamento Nacional de Obras contra as Secas, 1990, 48p.
- PEZZOPANE, J.E.M., PEDRO JÚNIOR, M.J., ORTOLANI, A.A., MEYER, N. Radiação líquida e temperatura de folha no interior de estufa com cobertura plástica, durante o período noturno. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.3, p.1-4, 1995.
- PIETERS, J.G., DELTOUR, J.M., DEBRUYCKERE, M.J. Light transmission through condensation on glass and polyethylene. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.85, n.1-2, p.51-62, 1997.
- PINHEIRO, F.A. Segmentação de mercado de produtos hortícolas e cultivo em ambientes protegidos. In: FORO INTERNACIONAL DE CULTIVO PROTEGIDO, 1997, Botucatu. *Anais...* Botucatu: FCA-UNESP/FAPESP, 1997. p.154-67.
- PINTO, C.M.F., PÁDUA, J.G., CASALI, V.W.D. Produção de mudas, plantio e espaçamento em pimentão e pimenta. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.10, n.113, p.31-4, 1984.
- PLASTICULTURA: a agricultura embalada para o presente. *UNESP: Jaboticabal em Notícias*, v.4, n.19, 1993.
- PRADOS, N.C. *Contribución al estudio de los cultivos enarenados en Almeria: necesidades hídricas y extracción del nutrientes del cultivo de tomate de crecimiento indeterminado em abrigo de polietileno*. Almeria, Espanha, 1986. 195p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Caja Rural Provincial.
- PRADOS, N.C. El microclima de los invernaderos de plástico de la costa del sureste español. *Horticulture*, v.51, p.60-71, 1989.
- PRATES, J.E.; SEDIYAMA, G.C.; VIEIRA, H.A. Clima e produção agrícola. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.138, p.18-22, 1986.
- PRATES, J. E., COELHO, D. T., STEINMETZ, S., SEDYANMA, G. C., VIANELLO, R. L. Relação entre os componentes do balanço de energia em diferentes estádios de desenvolvimento do arroz (*Oryza sativa*, L.) de sequeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5, 1987, Belém. *Anais...* Belém: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1987. p.333-6.

- PRUEGER, J.H., SAUER, T.J., HATFIELD, J.L. Turbulence flux of sensible and latent heat near shelterbelts during low wind conditions. *Transactions of the ASAE*, Saint Joseph, v.41, n.6, p.1643-50, 1998.
- REIS, N.V.B., CARRIJO, O.A. Estufa, material de coberturas e cortinamento – durabilidade e transparência a radiação solar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1999, Florianópolis. CD... Florianópolis: Epagri, 1999.
- REIS, N.V.B., HORINO, Y., OLIVEIRA, C.A.S., BOITEUX, L.S., LOPES, J.F. Avaliação do uso de estufas plásticas para produção de pepino, na região do Distrito Federal, durante a estação invernos. *Horticultura Brasileira*, v.9, n.1, p.55, 1991a.
- REIS, N.V.B., HORINO, Y., OLIVEIRA, C.A.S., BOITEUX, L.S. Cultivo de tomate com e sem cobertura plástica. I. Efeito sobre a produção e radiação interceptada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7, 1991b, Viçosa. *Resumos...* Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1991b. p.12-15.
- REIS, N.V.B., HORINO, Y., OLIVEIRA, C.A.S., BOITEUX, L.S., LOPES, J.F. Influência da temperatura-graus-dia sobre a produção de pepino sob cultivo protegido e a céu aberto. *Horticultura Brasileira*, v.10, n.1, p.65, 1992.
- ROLIM, G.S., SENTELHAS, P.C., BARBIERI, V. Planilhas no ambiente Excel<sup>TM</sup> para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.6, n.1, p.133-7, 1998.
- ROSENBERG, N.J., BLAD, B.L., VERMA, S.B. *Microclimate: the biological environment*. 2ed. New York: John Wiley, 1983. 495p.
- ROSENBERG, N.J., MCKENNY, M.S., MARTIN, P. Evapotranspiration in greenhouse-warmed world: a review and a simulation. *Agriculture Forest Meteorology*, Amsterdam, v.47, p.303-320, 1989.
- SALVETTI, M.G. *O polietileno na agropecuária brasileira*. 2ed., São Paulo: Poliolefinas, 1983. 154p.
- SANTOS, R.F., RICIERI, R.P., KLAR, A.E., KRUGER, F.C. Comportamento de altura de planta de dois híbridos de pimentão cultivado na estufa e à campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1999, Florianópolis. CD... Florianópolis: Epagri, 1999.

- SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Programa paulista para a melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros. *Classificação de pimentão*. São Paulo, 1998. “não pag.” (folheto)
- SCATOLONI, M.E. *Estimativa da evapotranspiração da cultura de crisântemo em estufa a partir de elementos meteorológicos*. Piracicaba, 1996. 65p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo.
- SCHNEIDER, F.M., BURIOL, G.A., ANDRIOLLO, J.L., ESTEFANEL, V., STRECK, N.A. Modificação na temperatura do solo causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade em Santa Maria, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, p.37-42, 1993.
- SCHULZE, R. Über die verwendung von polyäthylen für strahlungsmessungen. *Arch. Meteorological Geophysical Bioklimat. Ser. B.*, v.11, p.211-23, 1961.
- SEEMAN, J. Greenhouse climate. In: *Agrometeorology*. New York, Germany: Springer-Verlag, 1979. p.165-78.
- SGANZERLA, E. *Nova agricultura: a fascinante arte de cultivar com plásticos*. 5ed. Guaíba: Agropecuária, 1995. 342p.
- SHAW, R.H. Comparison of solar radiation and net radiation. *Bulletim Am. Meteorological Society*, v.37, p.205-6, 1956.
- SILVA, F.C., FURLAN, R.A., FOLEGATTI, M.V. Estimativas de densidade de fluxo de calor sensível e latente através do método da razão de Bowen. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1999, Florianópolis. CD... Florianópolis: Epagri, 1999.
- SILVA, M.L.O. *Avaliação de parâmetros ambientais em dois modelos de estufa, sem e com presença de cultura*. São Carlos, 1997. 61p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- SIVIERO, P., BERNARDONI, C. Un tutto pepperone. *Informe Agrario*, v.46, n.18, p.73-82, 1990.
- SIVIERO, P., GALLERANI, M. *La coltivazione del pepperone*. Verona: Edizioni L'Informatore Agrario, 1992. 217p.

- SONNENBERG, P.E. *Olericultura especial: 2ª parte*. 2ed. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 1981, 143p.
- SOUZA, J.L. *Saldo radiômetro com termopilha de filme fino e aplicação no balanço de radiação e energia em cultivo de feijão-vagem (Phaseolus vulgaris L.) em casa de vegetação com cobertura de polietileno*. Botucatu, 1996. 172p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas - Universidade Estadual Paulista.
- STANGHELLINI, C. Evapotranspiration in greenhouse with special reference to mediterranean conditions. *Acta Horticulturae*, Wageningen, v.335, p.296-304, 1993.
- STANHILL, G., COX, J.T.H., MORESHET, S. The effect of crop and climate factors on the radiation balance of on irrigated maize crop. *Journal of Applied Ecology*, v.5, p. 707-20, 1968.
- STANHILL, G., HOFSTEDE, G.J., KALMA, J.D. Radiation balance of natural and agricultural vegetation. *Q.J.R. Meteorological Society*, v.92, p.128-40, 1966.
- SUOMI, V.E. *Heat budget over a corn field*. Chicago, 1953. 36p. Tese (Doutorado) – University Chicago.
- SUOMI, V.E., TANNER, C.B. Evapotranspiration estimates from heat budget measurements over a field crop. *Trans. Am. Geophys. Un.*, Washington, v.39, p.298-304, 1958.
- TANAKA, M., GENTA, H. *Control del medio ambiente bajo invernadero y tunel plastico*. Salto: Uruguay - Estación Experimental de Citricultura, 1982. 61p.
- TANNER, C.B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. *Proceedings Soil Science Society of America*. Madison, v.24, n.1, p.1-9, 1960.
- TAPIA, G.J. Filmes térmicos para invernaderos. *Revista de plásticos modernos*, Madrid, v.295, p.75-82, 1981.
- TEITEL, M., TANNY, J. Natural ventilation of greenhouse: experiments and model. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.96, n.1-3, p.59-70, 1999.
- TEODORO, R.E.F. *Efeito da irrigação no crescimento e produção do pimentão (Capsicum annuum L.) conduzido em casa de vegetação e em condições de campo*. Piracicaba, 1986. 67p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.

- TEODORO, R.E.F., OLIVEIRA, A.S., MINAMI, K. Efeitos da irrigação por gotejamento na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em casa-de-vegetação. *Sci.Agric.*, Piracicaba, v.50, n.2, p.237-243, 1993.
- THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geography Review*, v.38, p.55-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. *The water balance*. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.
- TIVELLI, S.W. *Sistemas de cultivo na cultura do pimentão (Capsicum annuum L.) vermelho em ambiente protegido*. Botucatu, 1999. 157p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista.
- TULLER, S.E., PETERSON, M.J. The solar radiation environment of greenhouse-grown Douglas-fir seedlings. *Agriculture and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.44, n.1, p.49-65, 1988.
- VAN BAVEL, C.H.M. Potencial evaporation: the combination concept and its experimental verification. *Water Resource Research*, v.2, p.455-67, 1966.
- VAN DEN BOS, J. *The isolating effect of greenhouses on arthropod pests and its significance for integrated pest management*. Wageningen: Pudoc, 1983. 92p.
- VAN DER POST, C.J., VAN-SHIE, J.J., GRAAF, R. Basic problems of water relationship: energy balance and water supply in glasshouses the West-Netherlands. *Acta Horticulturae*, Wageningen, v.35, p.13-21, 1974.
- VAN LOON, W.K.P., BASTINGS, H.M.H., MOORS, E.J. Calibration of soil heat flux sensors. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.92, n.1, p.1-8, 1998.
- VAN WIJK, W.R. Soil microclimate, its creation, observation and modification. *Agricultural Meteorology: meteorological monographs*, v.6, n.28, p.59-73, 1965.
- VAN WIJK, W.R. *Physics of plant environment*. North-Holland Publication, Amsterdam, 382p. 1966.
- VILLA NOVA, N.A. *Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz*. Piracicaba, 1973. 77p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo.
- WAGGONER, P.E., REIFSNYDER, W.E. Difference between net radiation and water use caused by radiation from the soil surface. *Soil Science*, v.91, p.246-50, 1961.

## **APÊNDICE**

1. Programa para a leitura dos sensores agrometeorológicos utilizados na cultura de pimentão nos cultivos protegido e de campo.

```
;{21X}
*Table 1 Program
  01: 5.0    Execution Interval (seconds)
;*** INSTRUCAO PARA VELOCIDADE DO VENTO 2 METROS ***
1: Pulse (P3)
  1: 1      Reps
  2: 2      Pulse Input Channel
  3: 12     Switch Closure, Counts (Discard Bad Intervals)
  4: 33     Loc [ VENTO2  ]
  5: 0.075  Mult
  6: 0.0    Offset
;*** INSTRUCAO PARA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR ***
2: Temp 107 Probe (P11)
  1: 1      Reps
  2: 6      SE Channel
  3: 3      Excite all reps w/Exchan 3
  4: 34     Loc [ TEMPEXT  ]
  5: 1.0    Mult
  6: 0.0    Offset
3: Excite Delay Volt (SE) (P4)
  1: 1      Reps
  2: 5      ñ 5000 mV Slow Range
  3: 7      SE Channel
  4: 2      Excite all reps w/Exchan 2
  5: 15     Delay (units 0.01 sec)
  6: 5000   mV Excitation
  7: 35     Loc [ UREXT  ]
  8: 0.1    Mult
  9: 0.0    Offset
;*** INSTRUCAO PARA ACIONAR O RELAY MULTIPLEX AM416 ***
4: Do (P86)
  1: 41     Set Port 1 High
;*** INSTRUCAO P/ LEITURA DE TEMPERATURA E UR - HMP45C ***
5: Excitation with Delay (P22)
  1: 1      Ex Channel
  2: 0      Delay w/Ex (units = 0.01 sec)
  3: 15     Delay After Ex (units = 0.01 sec)
  4: 0      mV Excitation
6: Volts (SE) (P1)
  1: 1      Reps
  2: 5      ñ 5000 mV Slow Range
  3: 9      SE Channel
  4: 36     Loc [ TEMPINT  ]
  5: 0.1    Mult
  6: -40    Offset
7: Volts (SE) (P1)
  1: 1      Reps
```

```

2: 5    ñ 5000 mV Slow Range
3: 10    SE Channel
4: 37    Loc [ URINT   ]
5: 0.1    Mult
6: 0.0    Offset
;*** INSTRUCAO PARA TEMPERATURA DO SOLO ***
8: Beginning of Loop (P87)
1: 0    Delay
2: 4    Loop Count
9: Do (P86)
1: 72    Pulse Port 2
10: Excitation with Delay (P22)
1: 1    Ex Channel
2: 10    Delay w/Ex (units = 0.01 sec)
3: 10    Delay After Ex (units = 0.01 sec)
4: 5000    mV Excitation
11: Temp 107 Probe (P11)
1: 1    Reps
2: 1    -- SE Channel
3: 02    -- Excite all reps w/Exchan 2
4: 1    -- Loc [ T_SOL_1   ]
5: 1.0    Mult
6: 0.0    Offset
12: End (P95)
;*** INSTRUCAO PARA TEMPERATURA/TERMOPARES - COBRE/CONSTANTAN ***
33: Beginning of Loop (P87)
1: 0    Delay
2: 9    Loop Count
34: Excitation with Delay (P22)
1: 1    Ex Channel
2: 10    Delay w/Ex (units = 0.01 sec)
3: 10    Delay After Ex (units = 0.01 sec)
4: 5000    mV Excitation
35: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
1: 1    Reps
2: 2    -- ñ 15 mV Slow Range
3: 1    -- DIFF Channel
4: 1    Type T (Copper-Constantan)
5: 36    Ref Temp Loc [ TEMPINT   ]
6: 8    -- Loc [ T_AR_1   ]
7: 1.0    Mult
8: 0.0    Offset
36: End (P95)
;*** INSTRUCAO PARA RAD.GLOBAL, SALDO RADIOMETRO, RAD.DIFUSA,
;*** RAD.REFLETIDA E FLUXO DE CALOR SOLO ***
37: Beginning of Loop (P87)
1: 0    Delay
2: 8    Loop Count
38: Excitation with Delay (P22)
1: 1    Ex Channel

```

```

2: 10    Delay w/Ex (units = 0.01 sec)
3: 10    Delay After Ex (units = 0.01 sec)
4: 5000   mV Excitation
39: Volt (Diff) (P2)
1: 1      Reps
2: 4      -- ñ 500 mV Slow Range
3: 2      -- DIFF Channel
4: 17     -- Loc [ MV__1   ]
5: 1.0    Mult
6: 0.0    Offset
40: End (P95)
;*** INSTRUCAO PARA TEMPERATURA/TERMOPARES - Cu/Co ***
41: Beginning of Loop (P87)
1: 0      Delay
2: 8      Loop Count
42: Excitation with Delay (P22)
1: 1      Ex Channel
2: 10     Delay w/Ex (units = 0.01 sec)
3: 10     Delay After Ex (units = 0.01 sec)
4: 5000   mV Excitation
43: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
1: 1      Reps
2: 2      -- ñ 15 mV Slow Range
3: 2      -- DIFF Channel
4: 1      Type T (Copper-Constantan)
5: 34     Ref Temp Loc [ TEMPEXT  ]
6: 25     -- Loc [ TEMP_AR_1 ]
7: 1.0    Mult
8: 0.0    Offset
44: End (P95)
;*** INSTRUCAO PARA FECHAR O RELAY MULTIPLEX AM416 ***
45: Do (P86)
1: 51     Set Port 1 Low
;*** INSTRUCAO PARA SAIDA DOS DADOS - A CADA 5 MINUTOS ***
46: If time is (P92)
1: 0      Minutes into a
2: 5      Minute Interval
3: 10     Set Output Flag High
47: Set Active Storage Area (P80)
1: 1      Final Storage
2: 100    Array ID or Loc [ _____ ]
48: Real Time (P77)
1: 1220   Year,Day,Hour/Minute (prev day at midnight, 2400 at midnight)
;*** VELOCIDADE DO VENTO 2 METROS ***
49: Average (P71)
1: 1      Reps
2: 33     Loc [ VENTO2   ]
;*** TEMPERATURA DO AR ***
50: Average (P71)
1: 1      Reps

```

```

2: 34    Loc [ TEMPEXT  ]
;*** UMIDADE RELATIVA DO AR ***
51: Average (P71)
1: 1     Reps
2: 35    Loc [ UREXT   ]
52: Average (P71)
1: 1     Reps
2: 36    Loc [ TEMPINT ]
53: Average (P71)
1: 1     Reps
2: 37    Loc [ URINT   ]
;*** TEMPERATURA DO SOLO ***
54: Average (P71)
1: 4     Reps
2: 1     -- Loc [ T_SOL_1 ]
;*** TEMPERATURA/TERMOPARES(Lado1-protegido) - COBRE/CONSTANTAN ***
56: Average (P71)
1: 6     Reps
2: 11    -- Loc [ T_AR_4  ]
;*** TEMPERATURA/TERMOPARES(Lado2-campo) - COBRE/CONSTANTAN ***
57: Average (P71)
1: 6     Reps
2: 27    -- Loc [ TEMP_AR_3 ]
;*** RAD.GLOBAL, SALDO RADIOMETRO, RAD.DIFUSA, ***
;*** RAD.REFLETIDA E FLUXO DE CALOR SOLO ***
58: Average (P71)
1: 8     Reps
2: 17    -- Loc [ MV__1   ]
;*** TRANSFERENCIA PARA O MODULO DE MEMORIA SM192 ***
59: Serial Out (P96)
1: 30    SM192/SM716/CSM1
*Table 2 Program
02: 0.0   Execution Interval (seconds)
*Table 3 Subroutines

```

2. Programa para a integralização diária das componentes da radiação solar para as condições de cultivo protegido (pt) e de campo (ca) através do software Microcal Origin™.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| worksheet -c GLOBpt<br>worksheet -c GLOBca<br>worksheet -c REFLpt<br>worksheet -c REFLca<br>worksheet -c DIFpt<br>worksheet -c DIFca<br>worksheet -c SALDpt<br>worksheet -c SALDca<br>worksheet -c FLUXpt<br>worksheet -c FLUXca                                                                                                             | Criação das colunas onde serão armazenados os valores instantâneos em $\text{W.m}^{-2}$ , para cada componente da radiação solar.                                          |
| worksheet -c AGLpt<br>worksheet -c AGLca<br>worksheet -c AREFpt<br>worksheet -c AREFca<br>worksheet -c ADIFpt<br>worksheet -c ADIFca<br>worksheet -c ASALpt<br>worksheet -c ASALca<br>worksheet -c AFLUpt<br>worksheet -c AFLUca                                                                                                             | Criação das colunas onde serão armazenados os valores instantâneos em $\text{MJ.m}^{-2}$ , para cada componente da radiação solar.                                         |
| COL(GLOBpt)=COL(X)/0.016965<br>COL(GLOBca)=COL(Y)/0.00813<br>COL(REFLpt)=COL(DD)/0.017183<br>COL(REFLca)=COL(EE)/0.021470<br>COL(DIFpt)=COL(FF)/0.017968<br>COL(DIFca)=COL(GG)/0.00817<br>COL(SALDpt)=COL(Z)*9.14<br>COL(SALDca)=COL(AA)*13.50<br>COL(FLUXpt)=COL(BB)*35.80<br>COL(FLUXca)=COL(CC)*36.20                                     | Transformação dos valores instantâneos em milivolts para $\text{W.m}^{-2}$ , através de suas respectivas constantes de calibração, para cada componente da radiação solar. |
| COL(AGLpt)=COL(GLOBpt)*0.0036<br>COL(AGLca)=COL(GLOBca)*0.0036<br>COL(AREFpt)=COL(REFLpt)*0.0036<br>COL(AREFca)=COL(REFLca)*0.0036<br>COL(ADIFpt)=COL(DIFpt)*0.0036<br>COL(ADIFca)=COL(DIFca)*0.0036<br>COL(ASALpt)=COL(SALDpt)*0.0036<br>COL(ASALca)=COL(SALDca)*0.0036<br>COL(AFLUpt)=COL(FLUXpt)*0.0036<br>COL(AFLUca)=COL(FLUXca)*0.0036 | Correção dos valores instantâneos em $\text{W.m}^{-2}$ para $\text{MJ.m}^{-2}$ , para cada componente da radiação solar.                                                   |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <pre> %B=%(%H,@LINK,2) %B=%H %B= INTEG -A %B_AGLpt; GLOBINT(MJ.M2)= INTEG.AREA= INTEG -A %B_AGLca; GLOBINT(MJ.M2)= INTEG.AREA= INTEG -A %B_AREFpt; REFLINT(MJ.M2)= INTEG.AREA= INTEG -A %B_AREFca; REFLEXT(MJ.M2)= INTEG.AREA= INTEG -A %B_ADIFpt; DIFINT(MJ.M2)= INTEG.AREA= INTEG -A %B_ADIFca; DIFINT(MJ.M2)= INTEG.AREA= INTEG -A %B_ASALpt; SALDINT(MJ.M2)= INTEG.AREA= INTEG -A %B_ASALca; SALDEXT(MJ.M2)= INTEG.AREA= INTEG -A %B_AFLUpt; FLUXINT(MJ.M2)= INTEG.AREA= INTEG -A %B_AFLUca; FLUXEXT(MJ.M2)= INTEG.AREA= </pre> | <p>Integralização dos valores instantâneos em MJ.m<sup>-2</sup> ao longo do dia, em função das curvas de irradiância para cada da componente radiação solar.</p>                                             |
| <pre> WIN -B Pg1 PAGINA1 LAYER -O 1{ LAYER -I200 %B_GLOBpt; }; LAYER -O 2{ LAYER -I200 %B_GLOBca; }; LAYER -O 3{ LAYER -I200 %B_REFLpt; }; LAYER -O 4{ LAYER -I200 %B_REFLca; }; LAYER -O 5{ LAYER -I200 %B_DIFpt; </pre>                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>Geração dos gráficos, ou seja, das curvas de irradiância, as quais originaram a integralização dos valores instantâneos em MJ.m<sup>-2</sup> ao longo do dia, para cada componente da radiação solar.</p> |

```
};  
LAYER -O 6{  
LAYER -I200 %B_DIFca;  
};  
LAYER -O 7{  
LAYER -I200 %B_SALDpt;  
};  
LAYER -O 8{  
LAYER -I200 %B_SALDca;  
};  
LAYER -O 9{  
LAYER -I200 %B_FLUXpt;  
};  
LAYER -O 10{  
LAYER -I200 %B_FLUXca;  
};
```

---

3. Programa para estimativa e integralização diária das componentes do balanço de energia em cultivo protegido (pt) através do software Microcal Origin™.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| worksheet -c TSM12<br>worksheet -c GAMA12<br>worksheet -c dTU12<br>worksheet -c dT12<br>worksheet -c dTUDT12<br>worksheet -c BOW12<br>worksheet -c LE12<br>worksheet -c H12<br>worksheet -c SALDpt<br>worksheet -c FLUXpt                                                                                                                                                                             | Criação das colunas onde serão armazenados os valores instantâneos em $W.m^{-2}$ , para cada componente do balanço de energia.                                          |
| worksheet -c ASALpt<br>worksheet -c AFLUpt<br>worksheet -c ALE12<br>worksheet -c AH12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Criação das colunas onde serão armazenados os valores instantâneos em $MJ.m^{-2}$ , para cada componente do balanço de energia.                                         |
| COL(SALDpt)=COL(Z)*9.14<br>COL(FLUXpt)=COL(BB)*35.8<br>COL(TSM12)=(COL(M)+COL(O))/2<br><br>COL(GAMA12)=((0.317*EXP(0.05979*COL(TSM12)))+0.544)/0.544<br>COL(dTU12)=COL(P)-COL(N)<br>COL(dT12)=COL(O)-COL(M)<br>COL(dTUDT12)=COL(dTU12)/COL(dT12)<br>COL(BOW12)=1/((COL(GAMA12)*COL(dTUDT12))-1)<br>COL(LE12)=((COL(SALDpt)-COL(FLUXpt))/(1+COL(BOW12)))<br>COL(H12)=COL(SALDpt)-COL(FLUXpt)-COL(LE12) | Transformação dos valores instantâneos em milivolts para $W.m^{-2}$ , através de suas respectivas constantes de calibração, para cada componente do balanço de energia. |
| COL(ASALpt)=COL(SALDpt)*0.0036<br>COL(AFLUpt)=COL(FLUXpt)*0.0036<br>COL(ALE12)=COL(LE12)*0.0036<br>COL(AH12)=COL(H12)*0.0036                                                                                                                                                                                                                                                                          | Correção dos valores instantâneos em $W.m^{-2}$ para $MJ.m^{-2}$ , para cada componente do balanço de energia.                                                          |
| %B=%(%H,@LINK,2)<br>%B=%H<br>%B=<br>INTEG -A %B_ASALpt;<br>SALDINT(MJ.M2)=<br>INTEG.AREA=<br>INTEG -A %B_AFLUpt;<br>FLUXINT(MJ.M2)=<br>INTEG.AREA=<br>INTEG -A %B_ALE12;<br>LE12(MJ.M2)=<br>INTEG.AREA=<br>INTEG -A %B_AH12;                                                                                                                                                                          | Integralização dos valores instantâneos em $MJ.m^{-2}$ ao longo do dia, em função das curvas de irradiação para cada da componente do balanço de energia.               |

H12(MJ.M2)=  
INTEG.AREA=

---

```
WIN -B Pg1 PAGINA1
LAYER -O 1{
LAYER -I200 %B_LE12;
};
LAYER -O 2{
LAYER -I200 %B_H12;
};
LAYER -O 3{
LAYER -I200 %B_SALDpt;
};
LAYER -O 4{
LAYER -I200 %B_FLUXpt;
};
```

---

Geração dos gráficos, ou seja, das curvas de irradiação, as quais originaram a integralização dos valores instantâneos em MJ.m<sup>-2</sup> ao longo do dia, para cada componente do balanço de energia.