

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em Agronomia



TESE

**PARÂMETROS AGROMETEOROLÓGICOS DE AMBIENTE
PROTEGIDO COM O CULTIVO DE ABÓBORA ITALIANA
SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA**

DÁGNON DA SILVA RIBEIRO

PELOTAS, 2008

DÁGNON DA SILVA RIBEIRO

**PARÂMETROS AGROMETEOROLÓGICOS DE AMBIENTE
PROTEGIDO COM O CULTIVO DE ABÓBORA ITALIANA
SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências (área do conhecimento: Produção Vegetal).

Orientador (a):

Prof^a. Dr^a. Marta Elena Gonzalez Mendez – PPGA/FAEM/UFPel

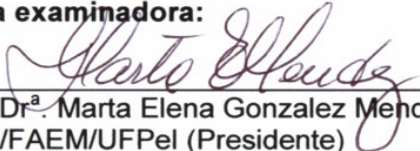
Co-Orientador (es):

Prof. Dr. Edgar Ricardo Schöffel – PPGA/FAEM/UFPel

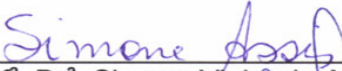
Prof. Dr. Luis Carlos Timm – FEA/UFPel

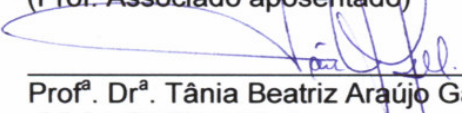
Pelotas, 2008

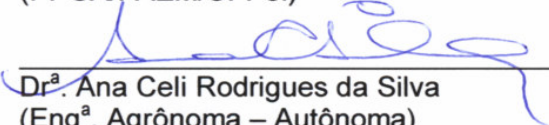
Banca examinadora:


Profª. Drª. Marta Elena Gonzalez Mendez
PPGA/FAEM/UFPeI (Presidente)


Profª. Drª. Cláudia Rejane Jacondino de Campos
(PPGMET/ Faculdade de Meteorologia/UFPeI)


Profª. Drª. Simone Vieira de Assis
(Prof. Associado aposentado)


Profª. Drª. Tânia Beatriz Araújo Gamboa Morselli
(PPGA/FAEM/UFPeI)


Drª. Ana Celi Rodrigues da Silva
(Engª. Agrônoma – Autônoma)

À minha esposa Denise e aos meus filhos Amanda e Mateus, pessoas que são a minha fonte de estímulo na busca constante de meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre dar-me forças e serenidade para a superação de minhas dificuldades.

À minha esposa e aos meus filhos, pelo estímulo, carinho, compreensão e apoio recebidos.

Aos meus pais, pelo constante incentivo ao meu crescimento pessoal.

À Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel e Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Pelotas (CEFET-RS), por liberar-me das atividades docentes para cursar Pós-Graduação, e aos colegas do curso de Eletrotécnica, pelo apoio recebido à realização do curso.

À Prof^a. Dr^a. Marta Elena Gonzalez Mendez, pela confiança, amizade, apoio e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

Aos Co-orientadores, Prof. Dr. Edgar Ricardo Schöffel e Prof. Dr. Luis Carlos Timm, pelos ensinamentos, conselhos e disponibilidade de atenção.

À Prof^a. M^a. Eleonora Elba Sobreiro Jaime, pela revisão lingüística.

Aos professores e funcionários da Pós-Graduação, pela dedicação e apoio recebidos.

Aos amigos colegas e estagiários, os quais trabalharam comigo e/ou me ajudaram durante o período de realização deste trabalho. Dentre estes, cito, especialmente, Viviane de Paula, Clênio Böhmer, Clarissa Cogo, Marta Ávila e os bolsistas de iniciação científica Diego Fraga e Pedro Oliveira.

Aos demais colegas da Pós-Graduação, pelo apoio, estímulo e amizade.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

“Os únicos limites das nossas realizações de amanhã são
as nossas dúvidas e hesitações de hoje.”

Benjamin Franklin

Resumo

RIBEIRO, Dágnon da Silva. **Parâmetros agrometeorológicos de ambiente protegido com o cultivo de abóbora italiana sob adubação orgânica**. 2008. 103f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O crescimento do consumo de hortaliças vem exigindo do horticultor, dentro de uma perspectiva de sustentabilidade da agricultura, o emprego de técnicas que possibilitem a produção de alimentos com maior produtividade e qualidade. O presente trabalho, com a cultura da abóbora italiana cultivada em ambiente protegido sob adubação orgânica, objetivou avaliar o comportamento do microclima dentro do ambiente protegido bem como descrever os fluxos radiativos, avaliar a produção de biomassa fresca de frutos sob diferentes doses de adubação e determinar a eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em fitomassa. O experimento foi conduzido de setembro a dezembro de 2006, na Universidade Federal de Pelotas, utilizando estufa plástica modelo “teto em arco”. Adotou-se o delineamento experimental inteiramente ao acaso, constituído de três tratamentos com cinco repetições. Os tratamentos utilizados foram uma (1), duas (2) e três (3) doses de vermicomposto bovino sólido. As variáveis meteorológicas do ambiente interno foram medidas com sensores eletrônicos conectados a um *micrologger*. Para o ambiente externo, as observações meteorológicas foram obtidas na Estação Agroclimatológica da UFPel/Embrapa. A radiação solar interna média foi de $14,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a transmitância média à radiação global foi de 75%. A radiação solar interna apresentou elevada correlação com os fluxos radiativos do balanço de ondas curtas e saldo de radiação. Em relação ao limite trófico da cultura, a radiação solar interna não impôs limitações à cultura. O valor médio diário da temperatura do ar interna foi de $21,3^{\circ}\text{C}$ e a média das máximas e mínimas foi de $29,5^{\circ}\text{C}$ e $15,1^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Para o período diurno e noturno, a temperatura média foi de $24,1^{\circ}\text{C}$ e $17,4^{\circ}\text{C}$, respectivamente. O maior efeito estufa ocasionado pelo ambiente protegido foi verificado sobre as temperaturas médias e máximas, principalmente, sobre as máximas. Para as temperaturas mínimas, os valores internos e externos foram similares durante todo o ciclo da cultura. Em relação aos limites de temperatura do ar e faixa ótima para a cultura, o ambiente protegido favoreceu a cultura. O valor médio diário da umidade relativa do ar interna foi 83% e a média das máximas e mínimas foi 97% e 58%, respectivamente. Em relação à faixa ótima para a cultura, em geral, o ambiente protegido não favoreceu a cultura. A maior produção de frutos e eficiência de conversão da PAR incidente em fitomassa foram obtidas pelo tratamento 2, sendo de $1,79 \text{ kg planta}^{-1}$ e $0,950 \text{ g MJ}^{-1}$, respectivamente.

Palavras-chave: Ambiente protegido. Radiação solar. Adubação orgânica. *Cucurbita pepo*.

Abstract

RIBEIRO, Dágnon da Silva. **Agrometeorological parameters in protected environment with the cultivation of summer squash under organic manuring.** 2008. 103p. Thesis (Doctorate) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

The growth of vegetable consumption has been demanding from the horticulturist, inside of a sustainable agriculture perspective, the utilization of techniques that make possible the production of food with larger productivity and quality. With summer squash cultivation under organic manuring in protected environment, the present work aimed to evaluate the microclimate behavior inside of the protected environment as well as to describe the radiation fluxes, to evaluate the fresh fruit biomass production under different doses of organic manuring, and to determine the conversion efficiency of photosynthetically activate radiation (PAR) in biomass. The experiment was carried out from September 2006 to December 2006, at Universidade Federal de Pelotas, using polyethylene greenhouse type "arched roof". The experiment was set up in an entirely randomized delineation, constituted of three treatments with five replications. The used treatments were one (1), two (2) and three (3) doses of solid bovine manure vermicompost. The meteorological variables of the internal environment were measured through electronic sensors connected to a micrologger. For the external environment, the meteorological observations were obtained in the Estação Agroclimatológica da UFPel/Embrapa. The average value of internal solar radiation was $14,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, and the medium transmittance to the global radiation was 75%. The internal solar radiation presented high correlation with the radiation fluxes of short wave and net radiation. Regarding the trofic limit of the culture, the internal solar radiation didn't impose limitations to the culture. The average daily value of the internal air temperature was $21,3^{\circ}\text{C}$ and the average of the maximum and minimum were $29,5^{\circ}\text{C}$ and $15,1^{\circ}\text{C}$, respectively. For the period of day and night, the average temperature was $24,1^{\circ}\text{C}$ and $17,4^{\circ}\text{C}$, respectively. The largest greenhouse effect caused by the protected environment was verified on the medium and maximum temperatures, mainly on the maximum. For the minimum temperatures, the internal and external values were similar during the whole cycle of the culture. Regarding the limits of air temperature and optimum strip for the culture, the protected environment favored the culture. The average daily value of the internal air relative humidity was 83% and the average of the maximum and minimum was 97% and 58%, respectively. Regarding the optimum strip of relative humidity for the culture, in general, the protected environment didn't favor the culture. The largest production of fruits and conversion efficiency of the incident PAR in fitomassa were obtained by the treatment 2, being of $1,79 \text{ kg plant}^{-1}$ and $0,950 \text{ g MJ}^{-1}$, respectively.

Keywords: Protected environment. Solar radiation. Organic manuring. *Cucurbita pepo*.

Lista de Figuras

Figura 1	Valores diários da radiação solar incidente no interior (R_s int) e no exterior (R_s ext) de ambiente protegido com a cultura da abóbora italiana, em Pelotas-RS, 2006.....	57
Figura 2	Transmitância da cobertura plástica (PEBD) de estufa plástica tipo “teto em arco” à radiação solar, em Pelotas-RS, 2006.....	59
Figura 3	Albedo médio diário e evolução da área foliar (AF) da cultura da abóbora italiana cultivada com uma dose de vermicomposto bovino sólido (1), duas doses (2) e três doses (3), em Pelotas-RS, 2006.....	60
Figura 4	Valores diários da radiação solar interna (R_s int), saldo de radiação (R_{n24h}), balanço de ondas curtas (BOC) e balanço de ondas longas (BOL_{24h}), sobre a cultura da abóbora italiana cultivada sob duas doses de vermicomposto bovino sólido (Tratamento 2) no interior de ambiente protegido, em Pelotas-RS, 2006.....	63
Figura 5	Relação entre o saldo de radiação (R_{n24h}) e a radiação solar interna (R_s int) (A) e entre o balanço de ondas curtas (BOC) e a radiação solar interna (B), sobre a cultura da abóbora italiana cultivada sob duas doses de vermicomposto bovino sólido (Tratamento 2) no interior de ambiente protegido, em Pelotas-RS, 2006.....	63
Figura 6	Balanço de ondas curtas – BOC (A), saldo de radiação (B), albedo (C) e balanço de ondas longas - BOL (D), em dias com condições meteorológicas características do mês de novembro de 2006, sobre a cultura da abóbora italiana cultivada sob duas doses de vermicomposto bovino sólido (Tratamento 2) no interior de ambiente protegido, em Pelotas-RS.....	66
Figura 7	Valores médios diários da temperatura do ar, no interior (TA_i) e exterior (TA_e) do ambiente protegido, limites de temperatura do ar para a cultura, superior (Lim. Sup.), inferior (Lim. Inf.) e faixa ótima, durante o período de desenvolvimento da cultura da abóbora italiana, em Pelotas-RS, 2006.....	70

Figura 8	Valores máximos absolutos diários da temperatura do ar, no interior (T _{Mi}) e exterior (T _{Me}) do ambiente protegido e valores mínimos absolutos diários da temperatura do ar, no interior (T _{mi}) e no exterior (T _{me}) do ambiente, limites de temperatura do ar para a cultura, superior (Lim. Sup.) e inferior (Lim. Inf.), durante o período de desenvolvimento da cultura da abóbora italiana, em Pelotas-RS, 2006.....	71
Figura 9	Valores diários das temperaturas do ar, média diurna (T _d) e média noturna (T _n), no interior do ambiente protegido, limites de temperatura para a cultura, superior (Lim. Sup.) e inferior (Lim. Inf.), durante o período de desenvolvimento da cultura da abóbora italiana, em Pelotas-RS, 2006.....	73
Figura 10	Valores diários da umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido: média (U _{Rméd}), máxima (U _{Rmáx}), mínima (U _{Rmín}), média diurna (U _{Rd}), média noturna (U _{Rn}) e faixa ótima para a cultura, durante o período de desenvolvimento da cultura da abóbora italiana, em Pelotas-RS, 2006.....	76
Figura 11	Pressão de saturação do vapor d'água interna (e _{s int}) e externa (e _{s ext}), pressão parcial de vapor d'água interna (e _{a int}) e externa (e _{a ext}), umidade relativa do ar média diária interna (U _{Rméd}) e externa (U _{Rméd ext}), durante o período de desenvolvimento da cultura da abóbora italiana, em Pelotas-RS, 2006.....	78
Figura 12	Evolução da eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa observada sobre a cultura da abóbora italiana com uma dose de vermicomposto bovino sólido, no interior de ambiente protegido, em Pelotas-RS, 2006.....	87

Lista de tabelas

Tabela 1	Resultado e interpretação da análise química de solo por tratamento de adubação do local de cultivo da abóbora italiana em Pelotas-RS, 2006.....	44
Tabela 2	Caracterização química do vermicomposto bovino sólido utilizado como adubo orgânico no cultivo da abóbora italiana em Pelotas-RS, 2006.....	45
Tabela 3	Fases fenológicas da cultura da abóbora italiana cultivada em ambiente protegido, em Pelotas-RS, 2006.....	56
Tabela 4	Albedo médio por fase fenológica da cultura da abóbora italiana cultivada em ambiente protegido com uma dose de vermicomposto bovino sólido (1), duas doses (2) e três doses (3), em Pelotas-RS, 2006.....	61
Tabela 5	Temperaturas médias do ar nas fases de desenvolvimento fenológico da cultura da abóbora italiana, no interior e exterior de ambiente protegido, em Pelotas-RS, 2006.....	73
Tabela 6	Peso médio de frutos por planta (Pmf), número de frutos por planta (Nfp) e produção por planta (Pp), para a cultura da abóbora italiana cultivada em ambiente protegido com uma dose de vermicomposto bovino sólido (1), duas doses (2) e três doses (3), em Pelotas-RS, 2006.....	79
Tabela 7	Matéria seca total da parte aérea (MS) e eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_{inc}) em fitomassa da cultura da abóbora italiana (EC), cultivada com uma dose de vermicomposto bovino sólido (1), duas doses (2) e três doses (3), em Pelotas-RS, 2006.....	83

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 A cultura da abóbora italiana.....	17
2.1.1 Características botânicas e exigências climáticas.....	17
2.1.2 Importância social, econômica e rendimentos.....	19
2.2 Adubação orgânica	21
2.3 Cultivo em ambiente protegido.....	26
2.3.1 Variáveis meteorológicas x ambiente protegido	27
2.3.1.1 Radiação solar	27
2.3.1.2 Temperatura.....	34
2.3.1.3 Umidade do ar.....	38
2.3.2 Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa em fitomassa.....	41
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
3.1 Área experimental	43
3.2 Arranjo experimental	44
3.3 Condução da cultura	46
3.4 Observações agronômicas.....	48
3.5 Observações agrometeorológicas.....	49
3.5.1 Temperatura do ar.....	49
3.5.2 Umidade do ar.....	50
3.5.3 Radiação solar	51
3.5.4 Radiação fotossinteticamente ativa.....	52
3.5.5 Saldo de radiação	52
3.6 Fluxos radiativos no interior do ambiente protegido	53
3.7 Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa em fitomassa.....	54

3.8 Análise estatística	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4.1 Fases fenológicas	56
4.2 Microclima dentro do ambiente protegido.....	56
4.2.1 Radiação solar	56
4.2.1.1 Albedo da cultura	59
4.2.1.2 Fluxos radiativos no interior do ambiente protegido	62
4.2.2 Temperatura do ar.....	69
4.2.3 Umidade do ar.....	75
4.3 Produção de biomassa fresca de frutos	79
4.4 Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa em fitomassa.....	83
5 CONCLUSÕES	88
6 REFERÊNCIAS.....	90
Apêndices.....	98

1 INTRODUÇÃO

As descobertas recentes da Medicina apontando sobre a necessidade da prevalência das hortaliças e frutas na dieta alimentar como uma condição favorável ao aumento da qualidade e expectativa de vida, têm favorecido nas últimas décadas a mudanças nos hábitos alimentares do mercador consumidor.

O consumo de produtos vegetais é cada vez maior, permitindo a previsão de um crescimento potencial elevado da demanda por hortaliças nas próximas décadas (ANDRIOLO, 2002). Esta maior demanda exige um maior tecnicismo do horticultor de forma a produzir alimentos com maior produtividade e qualidade, ofertando-os pelo maior tempo possível.

Uma das tecnologias que tem possibilitado a introdução de modelos de cultivos eficientes na olericultura é a do cultivo em ambiente protegido, coberto com filme plástico, comumente chamado estufa plástica. Neste ambiente, a cobertura plástica tem como finalidade primordial a proteção das culturas contra adversidades meteorológicas, tais como: geada, granizo, excesso de chuva e ventos.

A estufa plástica, em função de seu formato, dimensões, orientação geográfica, material de cobertura e manejo, modifica sensivelmente os fluxos radiativos no seu interior com relação ao meio externo, criando um microclima diferenciado. Da mesma forma, as práticas fitotécnicas de adubação, condução de plantas, densidade de plantio, irrigação, tratamentos fitossanitários, entre outras, interferem nos fluxos de energia no interior da estufa, pois interagem com as características físicas, biológicas e químicas do solo assim como influenciam, de forma direta, o desenvolvimento das plantas, fazendo com que práticas culturais anteriormente realizadas a céu aberto sejam repensadas para essa nova realidade. Portanto, com um manejo adequado, os fatores físicos que determinam esse

microclima podem ser controlados de forma a fornecer melhores condições ambientais para o pleno desenvolvimento das plantas.

De acordo com Cunha e Escobedo (2003), o cultivo de hortaliças em estufa plástica visa à obtenção de maior produtividade com melhor qualidade do produto final durante o ano todo. Esses autores citam diversos trabalhos onde foi demonstrado que o aumento na produção de hortaliças está associado às modificações micrometeorológicas causadas pelo uso da estufa com cobertura plástica, destacando a importância desse tipo de estudo, que são específicos para cada localidade e modelo de estufa.

A intensificação dos sistemas de cultivo em ambiente protegido também tem ocasionado problemas de sobreexploração e de contaminação de solos e água, e o uso indiscriminado de adubos minerais tem destruído a fertilidade do solo. Como conseqüências, observam-se a mineralização, alterações na estrutura dos solos, a contaminação da água devido à lixiviação dos produtos aplicados (fertilizantes e agrotóxicos) e problemas de pragas e doenças. Esta situação vem acompanhada por uma diminuição progressiva dos rendimentos, comprometendo o futuro agrícola e levando ao abandono da área dedicada à produção sob ambiente protegido (PEIL, 2000).

Para uma produção econômica e de alta qualidade, dando prioridade aos métodos ecologicamente mais seguros, o reaproveitamento dos resíduos tanto da atividade agrícola como da agroindústria é visto por especialistas como uma alternativa para restringir a aplicação de fertilizantes químicos.

A adubação orgânica pode apresentar-se como uma técnica de custo reduzido no fornecimento dos nutrientes necessários ao desenvolvimento das culturas, uma vez que, dentre os fatores de produção, a adubação pode representar de 20% a 30% do custo de produção (ALDRIGHI, 2000), além de possuir microorganismos que beneficiam a fauna e a flora do solo. Sob o aspecto social, tratando-se de uma atividade exigente de mão-de-obra intensiva, a agricultura orgânica constitui-se em alternativa importante para a viabilização da agricultura familiar.

A abóbora italiana é uma cultura que apresenta boa aceitação pelo mercado consumidor. O ciclo curto é uma das grandes vantagens do cultivo dessa cultura, pois o retorno econômico é mais rápido, constituindo-se numa importante opção na composição de sistemas de rotação de culturas em ambientes protegidos, os quais,

reconhecidamente, quando mal manejados, podem apresentar problemas fitossanitários, químicos e de estrutura do solo.

Sobre a cultura da abóbora italiana cultivada em estufa plástica com adubação orgânica, há escassez de informações (produtividade, comportamento do microclima da estufa, manejo do ambiente etc.), que possam servir de base aos produtores para o manejo da cultura em ambiente protegido. Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivos:

- avaliar o comportamento do microclima dentro do ambiente protegido ao longo do ciclo da cultura nas condições do experimento;
- descrever os fluxos radiativos (balanço de ondas curtas e de ondas longas, saldo de radiação e refletividade do cultivo) ao longo do ciclo da cultura;
- avaliar a produção de biomassa fresca de frutos de abóbora italiana em ambiente protegido sob diferentes doses de adubação orgânica e
- determinar a eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa em fitomassa da cultura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da abóbora italiana

2.1.1 Características botânicas e exigências climáticas

A família *Cucurbitaceae* compreende cerca de 118 gêneros e 825 espécies (BISOGNIN, 2002), adaptadas às regiões tropicais e subtropicais de ambos os hemisférios. Poucas espécies são cultivadas nas regiões temperadas devido à sensibilidade a geada. Nessa família, estão contidas as abóboras e morangas, as quais pertencem ao gênero *Cucurbita*, originário das Américas.

De acordo com Puiatti e Silva (2005), considera-se que o gênero *Cucurbita* seja formado de 15 espécies, sendo *C. argyrosperma*, *C. ficifolia*, *C. máxima*, *C. moschata* e *C. pepo* as cinco espécies domesticadas e, dentre essas, apenas as três últimas são cultivadas no Brasil. Segundo esses autores, a partir de registros em sítios arqueológicos, as espécies de *Cucurbita* estão dentre as mais antigas cultivadas nas Américas, sendo que as abóboras foram componentes da dieta da antiga civilização maia, juntamente com feijão e milho, datando de mais de 10000 anos atrás.

De acordo com Laura (2003), da abóbora podem ser consumidos a parte vegetativa e os frutos na forma madura ou imatura. Na forma imatura, o fruto é denominado abobrinha, sendo consumidos no Brasil, preferencialmente, frutos de *Cucurbita pepo* L. e *C. moschata*, enquanto que na forma madura, frutos de *C. moschata* e *C. máxima*.

A abóbora ou abobrinha italiana - *Cucurbita pepo* L. -, também chamada abobrinha de moita, de tronco ou de árvore, é uma espécie que apresenta hábito de crescimento ereto, com as hastes curtas e as folhas mosqueadas, formando a planta

uma típica moita. Assim, adapta-se a espaçamentos menores em relação a cucurbitáceas de ramas longas. A planta é compacta, com folhas bem recortadas, de coloração verde e manchas prateadas. O sistema radicular é extenso e superficial, concentrando-se na camada de 20cm do solo, se bem que a raiz principal possa ultrapassar a profundidade de 1m (FILGUEIRA, 2003).

O hábito de florescimento, em geral, é monóico, ou seja, apresenta flores unissexuais em pontos separados na mesma planta. Normalmente, as flores masculinas surgem primeiro e em maior número que as femininas. O período de floração vai de 35 a 40 dias após a semeadura e prolonga-se por 15 a 30 dias (CAMARGO, 1992). As flores são amarelas, sendo que as femininas apresentam ovário alongado que antecipa o formato do futuro fruto.

A monoicia contribui para a polinização cruzada entomófila, a qual normalmente é efetuada por abelhas que trabalham mais intensamente das seis horas da manhã até o início da tarde, com atividade máxima entre 8 e 9 horas da manhã (STRASSBURGUER, 2007). Em *C. pepo*, as flores se abrem antes do nascer do sol e se fecham aproximadamente às 11 horas da manhã (RECH, 2003). Devido à falta de sincronização entre a abertura das primeiras flores femininas e das masculinas na mesma planta, a cultura apresenta sérios problemas de polinização.

A abóbora italiana é uma cultura que apresenta ciclo curto. Filgueira (2003) relata que, das cultivares introduzidas no Brasil no passado, somente a cultivar Caserta – de nome italiano, porém de origem norte-americana – conquistou o consumidor, além de se destacar pela produtividade. Segundo o autor, o início da colheita ocorre de 45 a 60 dias após a semeadura, podendo prolongar-se por até 60 dias; os frutos devem ser colhidos imaturos (cerca de 20cm de comprimento e peso entre 200 e 250g) e, nessa condição, obtém-se de 8 a 10Mg ha⁻¹. Camargo (1992) considera que, no ponto de consumo, para a cultivar Caserta, os frutos têm comprimento médio de 16cm, diâmetro transversal médio de 4cm e peso médio de 180g, sendo que a produção média é aproximadamente de 8Mg ha⁻¹. Segundo os autores citados, a colheita freqüente de frutos, bem como a eliminação de frutos passados do ponto, estimula a formação e o desenvolvimento de novos frutos.

Quanto à forma, os frutos são alongados e cilíndricos, tendo uma coloração verde clara com estrias longitudinais mais escuras, estreitando-se próximo ao pedúnculo. Desenvolvem-se rapidamente dentro de dois a seis dias após a antese

(SILVA, 1994) e destacam-se pelo bom teor de vitaminas A e C, sendo ainda considerados refrescantes ao organismo, laxantes e diuréticos (SOUZA et al., 2002).

A espécie *Cucurbita pepo* L. é uma planta anual, sensível a geadas, mas tolerante a baixas temperaturas. A temperatura exerce uma influência muito grande na germinação e, conseqüentemente, na emergência das plântulas. Cada espécie apresenta uma temperatura mínima, máxima e ótima para a germinação, sendo, para a *Cucurbita pepo*, a mínima de 16°C, a máxima de 38°C e a ótima situa-se entre 20°C e 30°C. Por isso, na região sul, seu plantio estende-se da segunda quinzena de agosto até a primeira quinzena de fevereiro (RECH, 2003). Cermeño (1988) cita que a temperatura basal da cultura é de 8°C, que a cultura necessita de elevada umidade relativa (entre 65% e 80%) e bastante luminosidade. Para o crescimento e produção, considera-se a faixa de temperaturas de 18°C a 24°C como sendo ótima, com o mínimo de 15°C e o máximo de 32°C (PUIATTI; SILVA, 2005; LORENZ; MAYNARD (1988 apud ARAÚJO, 2002); MOLINAR et al., 2007).

2.1.2 Importância social, econômica e rendimentos

No Brasil, segundo o Censo Agropecuário de 1996, foram produzidas cerca de 68833,9Mg de abobrinha, sendo a região sudeste responsável por cerca de 72% da produção nacional, seguida pela região sul e centro-oeste, com 14% e 11%, respectivamente (IBGE, 2007a). O Estado de São Paulo é um dos maiores produtores dessa hortaliça, tendo produzido, em 2005, de acordo com IEA (2007), cerca de 33197Mg do produto numa área cultivada de 2662,9ha, com uma produtividade média de 12466kg ha⁻¹. Em 2006, a produção foi de 29235Mg para uma área de 2053,2ha, com uma produtividade de 14239kg ha⁻¹.

No passado, algumas cultivares de abobrinha foram introduzidas no Brasil. No entanto, somente a cultivar Caserta conquistou o mercado consumidor brasileiro, sendo o tipo preferido (FILGUEIRA, 2003). Conforme Souza et al. (2002), a abóbora italiana situa-se entre as 12 hortaliças de maior valor econômico de produção no Estado de São Paulo e no Brasil, sendo que a cultivar Caserta está entre as cultivares mais recomendadas e de comprovada aceitação comercial.

De acordo com o IBGE (2007b), as regiões com maior aquisição domiciliar *per capita* anual de abobrinha, no período 2002/2003, foram as regiões sudeste, centro-oeste e sul, com um consumo anual de 0,616, 0,361 e 0,338kg *per capita*,

respectivamente. Para o país, o consumo médio anual é 0,346kg *per capita*. Desse valor médio, de acordo com o IBGE (2007c), conforme a classe de rendimento monetário e não-monetário mensal familiar no período de 2002/2003, o maior consumo *per capita* anual encontra-se nas classes de maior renda, com diminuição gradativa de acordo com a diminuição da classe de renda. Como exemplo, este estudo apresenta, como maior consumo *per capita* anual, a quantidade de 0,543kg para a classe com ganhos maiores que R\$3000,00 e, como menor consumo, a quantidade de 0,094kg para a classe com ganhos até R\$400,00.

É importante destacar que, além do valor econômico e alimentar, o cultivo das cucurbitáceas, no caso, abóbora italiana, também tem grande importância social na geração de empregos diretos e indiretos, pois demanda grande quantidade de mão-de-obra em todas as fases ou etapas de seus sistemas de produção, desde a semeadura até a comercialização.

Quanto ao rendimento, tem-se que, em Viçosa-MG, Silva et al. (1988 apud ARAÚJO, 2002), obtiveram 18,08Mg ha⁻¹ de abóbora italiana tipo Caserta, considerando uma população de 12500 plantas ha⁻¹ num ciclo de 69 dias.

Durante o período de primavera, em Botucatu-SP, utilizando esterco bovino curtido como adubação da cultura da abóbora italiana, Lunardi et al. (1999) obtiveram produtividade de 28Mg ha⁻¹ para um ciclo total de 70 dias.

Araújo (2002), utilizando adubação química, analisou o efeito da aplicação de quatro doses de CO₂ dissolvido na água de irrigação, conjugado ao uso ou não de cobertura plástica sobre o solo, em dois períodos de cultivo da abóbora italiana; o primeiro, de maio a julho de 2000 (ciclo de 68 dias) e o segundo, de setembro a dezembro do mesmo ano (ciclo de 65 dias), em Piracicaba-SP. Obteve rendimentos máximos de 15,4Mg ha⁻¹ e 47,1Mg ha⁻¹, para o primeiro e segundo experimentos, respectivamente. Segundo o autor, os maiores rendimentos foram influenciados tanto pela dose de CO₂ aplicada à água de irrigação quanto pelo uso da cobertura plástica.

Em Pelotas, Ribeiro et al. (em fase de elaboração)¹, em experimento com a cultura da abóbora italiana cultivada no período de outono (março a maio de 2006) sob diferentes doses de adubação orgânica (vermicomposto bovino sólido), na mesma estufa utilizada neste trabalho, obtiveram produtividades de 0,36, 0,85 e

¹ RIBEIRO, D.; MENDEZ, M.; SCHÖFFEL, E.; PAULA, V.; FRAGA, D. [Produção orgânica de abóbora italiana cultivada em ambiente protegido durante o outono.] Não publicado, em fase encaminhamento a periódico científico.

1,24kg planta⁻¹ para os tratamentos testemunha (sem biofertilizante), com uma dose e duas doses de vermicomposto bovino sólido, respectivamente.

2.2 Adubação orgânica

De acordo com Claro (2001), o sistema agrícola convencional caracteriza-se pelo controle radical de pragas, doenças e plantas concorrentes mediante o uso de agrotóxicos, o que implica efeitos negativos sobre a biologia do solo, o equilíbrio nutricional das plantas e o controle biológico natural. Constitui-se num sistema simplificado, reducionista, no qual as pragas e doenças, que surgem devido aos desequilíbrios gerados pelo próprio sistema (redução de inimigos naturais, desbalanço nutricional das plantas, diminuição da biodiversidade, etc.), são amenizadas com aplicações sistemáticas de agrotóxicos, obtendo-se produtividades relativamente mais elevadas por unidade de área e reduzindo-se a necessidade de mão-de-obra. Entretanto, esse sistema apresenta evidentes e intensos sinais de esgotamento, decadência e insustentabilidade, devido a seus impactos sobre o meio ambiente, a saúde humana e a economia, demandando alto custo de capital e consumo de energia, sendo degenerador do solo e da biodiversidade.

O cultivo intensivo sobre a mesma área tende a gerar uma série de inconvenientes que podem comprometer a atividade a curto e médio prazo, tais como salinização, diminuição da matéria orgânica, compactação do solo e desequilíbrio das relações entre os nutrientes e a ocorrência de patógenos com estruturas de resistência no solo. Os altos rendimentos de fitomassa útil e residual nas condições protegidas exigem forte demanda por nutrientes e a ausência da ação das chuvas não permite a lixiviação dos elementos, acelerando o processo de salinização do solo (SCHIEDECK, 2002).

Segundo a Associação de Agricultura Orgânica – AAO, a agricultura orgânica é o sistema de produção que exclui o uso de fertilizantes sintéticos de alta solubilidade e agrotóxicos, além de reguladores de crescimento e aditivos sintéticos para alimentação animal. Sempre que possível, baseia-se no uso de esterco animais, rotação de culturas, adubação verde, compostagem e controle biológico de pragas e doenças. Busca manter a estrutura e produtividade do solo, trabalhando em harmonia com a natureza (AAO, 2007).

Devido aos impactos negativos da agricultura convencional, a agricultura orgânica torna-se cada vez mais uma necessidade mundial. Ela se caracteriza por ser mais exigente em conhecimentos científicos, exigir enfoque sistêmico, menor consumo de energia e insumos e menor dependência do sistema *agribusiness*. Pesquisas têm demonstrado que a agricultura orgânica propicia um rendimento equivalente ao sistema convencional e um lucro líquido maior, principalmente quando o sistema adquire estabilidade, ou seja, após um período de transição, que pode ser de um ou até quatro ou cinco anos. Há também uma maior utilização de mão-de-obra e uma maior estabilidade em períodos de estiagem. Além disso, proporciona alimentos com melhor qualidade biológica, sendo também uma agricultura ambientalmente mais equilibrada e socialmente mais justa (CLARO, 2001).

De acordo com a FAO (2007), no documento “Organic Agriculture and Food Security”, publicado pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação) na *International Conference Organic Agriculture and Food Security*, realizada em Roma entre 3 e 5 de maio de 2007, a agricultura orgânica não é mais um fenômeno apenas de países desenvolvidos, pois já é praticada comercialmente em 120 países, representando 31 milhões de hectares e um mercado de US\$40 bilhões em 2006, com expectativa de alcançar US\$70 bilhões em 2012. Segundo o documento, a característica mais marcante da agricultura orgânica é que está baseada no uso de insumos disponíveis localmente e na independência em relação a combustíveis fósseis; trabalhando com processos naturais, estes sistemas reduzem os custos de produção e aumentam a resiliência dos agroecossistemas ao stress climático. Ao manejar a biodiversidade no tempo (rotações) e no espaço (culturas consorciadas), os agricultores orgânicos usam seu trabalho e os serviços ambientais para intensificar a produção de um modo sustentável. Desta forma, sugere o documento que a agricultura orgânica possa ser o caminho para se alcançar a segurança alimentar e, assim, conclama os governos a alocarem recursos para a agricultura orgânica e integrarem seus objetivos e ações no âmbito do desenvolvimento agrícola nacional e das estratégias de redução da pobreza, com particular ênfase nas necessidades dos grupos mais vulneráveis, investindo no desenvolvimento em recursos humanos e no treinamento em agricultura orgânica como parte de suas estratégias para o desenvolvimento sustentável.

O Brasil, que, em 1999, regulamentou a produção orgânica (produção, tipificação, processamento, envase, distribuição, etc.) através da Instrução Normativa número 7 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, de 17 de maio de 1999, de acordo com IBD (2007), ocupa atualmente uma área expressiva de produção orgânica em termos mundiais, que coloca o país dentre os maiores produtores mundiais de orgânicos, posição no *ranking* que foi impulsionada pela decisão de incluir o extrativismo sustentável (castanha, açaí, pupunha, látex, frutas e outras espécies das matas tropicais) no cálculo da área da agricultura orgânica brasileira. Segundo IBD (2007), o Brasil tem ainda cerca de 800 mil hectares plantados com outras culturas orgânicas (para o mercado externo, a soja, o café e o açúcar lideram as exportações; para o mercado interno, os produtos mais comuns são as hortaliças, seguidos do café, açúcar, sucos etc.); o número de propriedades orgânicas tem aumentado expressivamente, pelo menos 80% dos projetos certificados no Brasil são de agricultores familiares e cerca de 70% da produção nacional de orgânicos é exportada, principalmente para a Europa, Estados Unidos e Japão. Conforme Darolt (2007), os estados do Paraná, São Paulo, Rio Grande do Sul, Minas Gerais e Espírito Santo são os principais produtores nacionais, sendo que o crescimento das vendas de produtos orgânicos nos últimos anos no país atingiu, recentemente, patamares de 50% ao ano.

Dentre os produtos alimentícios, o cultivo orgânico de hortaliças destaca-se pela estreita relação existente na quantidade de produtores e culturas trabalhadas, como consequência da adequação do sistema de produção orgânico às características das pequenas propriedades com gestão familiar, seja pela diversidade de espécies cultivadas em uma mesma área, seja pela menor dependência de insumos externos, maior utilização de mão-de-obra e menor necessidade de capital que essa modalidade de cultivo propicia (SOUZA; RESENDE, 2003).

Há vários fatores que têm dificultado o desenvolvimento da agricultura orgânica. Dentre eles, cabe destacar: a falta de domínio e conhecimento sobre a ciência e tecnologias em sistemas de cultivo de base ecológica por parte dos agricultores e dos profissionais que ensinam, pesquisam e difundem conhecimento sobre agricultura e pecuária; o imediatismo de resultados; a ameaça aos interesses econômicos; a insensibilidade aos efeitos negativos do sistema convencional; a

carência de pesquisas e programas governamentais para alavancá-las, bem como a precária situação financeira do agricultor, que, normalmente, tem uma necessidade imediata de obtenção de renda.

Entre outros efeitos, os adubos orgânicos aumentam a ação microbiana, a aeração e a disponibilidade de água no solo, favorecendo a infiltração e a retenção, regulando a temperatura do solo, evitando a compactação e auxiliando no controle dos processos erosivos. Favorecem a absorção de nutrientes existentes ou adicionados ao solo, por fornecer quinonas, que aumentam a respiração das plantas, fornecem fenóis, que dão maiores condições às plantas de resistirem às doenças, propiciam menor perda de nutrientes por lixiviação e por complexos orgânicos com metais pesados, e melhoram a estrutura do solo (SANTOS; MEDEIROS, 2005).

O reaproveitamento de resíduos, tanto da atividade agrícola como da agroindústria, é visto por especialistas como uma alternativa para restringir a aplicação de fertilizantes químicos. Uma das tecnologias utilizadas é a vermicompostagem, técnica que envolve a utilização de minhocas (*Eisenia foetida*) para digerir a matéria orgânica, estabilizando uma grande variedade de resíduos orgânicos com a conseqüente formação de húmus. Segundo Bonilla (1992), o vermicomposto é um húmus estável formado por substâncias estritamente húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas, ácidos himatomemelânicos, etc.) gerando excelentes adubos.

O vermicomposto propicia melhores condições de vida para a planta cultivada, permitindo que ela produza mais, pois melhora as propriedades físicas do solo, estimula a absorção de nutrientes, abastece as plantas com elementos fertilizantes, assegura uma maior disponibilidade de água e ativa a vida microbiana do solo (SOUZA, 2004). Em termos químicos, o vermicomposto auxilia na disponibilidade de nitrogênio, cálcio, potássio, magnésio e fósforo. A taxa de mineralização do nitrogênio é maior, a liberação é mais lenta e gradual, reduzindo as perdas desse nutriente por lixiviação (PIRES; JUNQUEIRA, 2001).

A vermicompostagem pode ser realizada a partir de qualquer resíduo animal; porém, tem sido utilizado com maior freqüência o esterco bovino devido à facilidade com que esse material é encontrado. O menor volume de aplicação por área, em comparação a adubação orgânica convencional, também faz do vermicomposto

bovino uma opção bastante atraente para a utilização em estufas plásticas, onde o espaço físico reduzido para o trabalho com grandes volumes pode ser um inconveniente (SCHIEDECK, 2002).

As experiências com cultivos orgânicos ainda são tímidas, tanto em ambiente protegido como a campo, sendo desenvolvidas quase que exclusivamente por instituições não-governamentais (DUARTE, 2006). A Universidade Federal de Pelotas, através da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), vem realizando trabalhos de pesquisa utilizando como adubação orgânica o vermicomposto em diferentes culturas e tem obtido bons resultados. Destes trabalhos, cita-se: Morselli (2001), Schiedeck (2002), Beckmann (2004), Duarte (2006) e Paula (2007).

Morselli (2001), estudando o efeito da aplicação do vermicomposto na forma sólida e líquida no cultivo sucessivo de alface em ambiente protegido, verificou que o uso do vermicomposto bovino na forma sólida, em função das respostas agrônomicas avaliadas, é o adubo orgânico mais eficiente na sucessão da alface para as cultivares Regina, Carolina e Mimosa Vermelha. Esta forma de adubação promoveu a precocidade da colheita da alface e manteve a matéria orgânica do substrato após o primeiro cultivo.

Schiedeck (2002), utilizando vermicomposto bovino e cinza de casca de arroz em diferentes combinações, obteve, para a cultura do meloeiro cultivada em ambiente protegido, níveis de produtividade equivalentes à produção com adubação mineral. De acordo com o autor, foram alcançados os padrões de massa e circunferência exigidos pelo mercado consumidor, sendo que muitos dos resultados obtidos nos tratamentos orgânicos foram similares ou superiores aos observados em outros experimentos no Brasil e no mundo.

Beckmann (2004), em cultivo de tomateiro em ambiente protegido sob adubação orgânica a base de vermicomposto bovino sólido, obteve níveis de produtividade equivalentes aos obtidos com a utilização de adubação mineral. Com relação à adubação orgânica, o tratamento com duas doses da recomendação de adubação foi o mais produtivo.

Duarte (2006), também em cultivo de tomateiro em ambiente protegido utilizando adubação orgânica a base de vermicomposto bovino sólido, indica este tipo de adubação como sendo viável para a produção de frutos da cultura, em função da obtenção de frutos sadios com atributos de qualidade, necessários para

obtenção dos padrões exigentes de comercialização. Destaca, ainda, que a utilização de duas doses da recomendação de adubação para a cultura do tomateiro em solo classe 4, proporciona boa e ótima produção.

Paula (2007) conclui que a adubação orgânica utilizando vermicomposto bovino (húmus) é eficiente para se obter uma elevada produção em morangueiro, cultivar Camarosa, cultivado em ambiente protegido, e que tanto uma como duas vezes a recomendação de adubação são similarmente eficientes para a expressão do potencial de produção e seus componentes no que se refere à produção por planta, peso médio de frutas e número de frutas por planta. De acordo com a autora, tanto uma como duas doses da recomendação de adubação mostraram produções por planta acima da média do estado do Rio Grande do Sul e próximas ao potencial produtivo da cultura.

2.3 Cultivo em ambiente protegido

As condições meteorológicas constituem-se num fator que influencia sensivelmente a produção de hortaliças. Por exemplo, em qualquer época do ano, o excesso de chuvas provoca encharcamento e erosão do solo além de criar condições favoráveis para o aparecimento de doenças, prejudicando a colheita e qualidade das hortaliças; o frio e os ventos do inverno acabam prolongando o ciclo dessas culturas; assim como o granizo e a geada também provocam perdas irreversíveis na produção.

O cultivo em ambiente protegido caracteriza-se pela construção de uma estrutura para a proteção das plantas contra os agentes meteorológicos que permita a passagem da luz, pois esta é essencial à realização da fotossíntese. É um sistema de produção agrícola que possibilita certo controle das condições edafoclimáticas tais como: temperatura, umidade do ar, radiação, solo, vento e composição atmosférica. De acordo com Sentelhas e Santos (1995), consiste numa tecnologia amplamente consolidada em países como China, Japão, Espanha, Itália, Grécia, Holanda e Estados Unidos.

Conforme Andriolo (1999), nas últimas décadas, o cultivo de plantas em ambiente protegido, especialmente em estufas, veio revolucionar a fisiologia da produção das hortaliças, em função da possibilidade de ajustar o ambiente à planta

e estender o período de produção das espécies para períodos do ano e mesmo regiões do globo terrestre antes inaptas à agricultura.

Para Bakker (1995), um aspecto distinto do cultivo protegido, comparado com aquele em campo aberto, é a existência de uma barreira entre as plantas e o ambiente externo. A presença de uma cobertura causa alterações, desejáveis e indesejáveis, nas condições climáticas, em relação à área externa: a radiação e a movimentação do ar são reduzidas, temperatura e pressão de vapor d'água aumentam e as flutuações nas concentrações de dióxido de carbono são muito mais sensíveis. Cada uma dessas alterações tem seu próprio impacto no crescimento, produção e qualidade das culturas conduzidas em abrigos, algumas delas sendo prejudiciais ao cultivo.

Para Martins et al. (1999), o cultivo em ambiente protegido proporciona, em geral, rendimentos superiores ao cultivo em campo aberto. Além dessa vantagem, os produtos colhidos apresentam melhor qualidade, as plantas consomem menos água, diminui-se a lixiviação dos nutrientes, melhora-se o aproveitamento da radiação solar, há um aumento significativo da temperatura interna do ar e do solo e as plantas daninhas podem ser controladas com aplicação de filmes plásticos.

Portanto, além da proteção contra adversidades climáticas (granizo, ventanias, excesso de chuvas, etc.), as quais normalmente prejudicam a colheita e qualidade do produto, o cultivo em ambiente protegido possibilita e objetiva, através de um manejo adequado, prover melhores condições de desenvolvimento das plantas, visto que é possível criar um microclima favorável para o ótimo crescimento das espécies ali cultivadas levando em consideração as suas diferentes necessidades de radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar, disponibilidade hídrica, etc.

2.3.1 Variáveis meteorológicas x ambiente protegido

2.3.1.1 Radiação solar

Toda a vida na Terra é mantida por um fluxo de energia proveniente do Sol e que passa pela biosfera. Por meio do processo fotossintético, a energia radiante é fixada em energia química potencial, utilizada por todos os componentes da cadeia

alimentar para realizar os processos vitais. A radiação é também a fonte primária de energia para a reposição da matéria orgânica consumida na cadeia alimentar e condiciona, regulando o balanço hídrico e o balanço de energia da Terra, um cenário favorável para a vida dos organismos (LARCHER, 2000). Segundo o autor, os movimentos de rotação e translação terrestres impõem um ritmo climático periódico, sendo que a mudança periódica entre dia e noite é uma referência astronômica para o ritmo diário e anual que rege a vida dos organismos; sobretudo, a radiação solar controla muitos processos do desenvolvimento, agindo como um sinal para, por exemplo, a germinação, o crescimento direcionado e a forma externa da planta.

A intensidade de radiação solar que atinge o topo da atmosfera terrestre é variável ao longo do ano em virtude dos efeitos astronômicos (declinação, distância Terra-Sol, latitude, etc.) do movimento de translação da Terra em torno do Sol e também de fenômenos que ocorrem na própria fonte de energia (manchas e erupções solares, variações de temperatura, etc.). Ao atravessar a atmosfera, a radiação solar é parcialmente absorvida e transformada em calor pela própria atmosfera. Também é parcialmente espalhada pelas moléculas dos gases constituintes da atmosfera e por outras partículas de tamanhos variados que ficam em suspensão. Pelas nuvens, é tanto absorvida quanto refletida, e sua intensidade à superfície também está relacionada com a altitude da localidade (RIBEIRO, 2003). Como resultado desses processos físicos (movimentos de rotação e translação terrestres, da transmissividade da atmosfera, da cobertura do céu, etc.), a intensidade da radiação solar é atenuada durante a sua trajetória até a superfície do globo terrestre, sendo, portanto, para um mesmo local desta superfície, variável ao longo do dia e do ano.

A radiação solar é o principal fator que restringe o rendimento das espécies, tanto no campo como em ambientes protegidos, sobretudo nos meses de inverno em altas latitudes, em razão da escassa energia radiante. As distintas regiões do Brasil, em geral, mostram uma redução da radiação solar incidente de 5 a 35% no interior de ambientes protegidos com relação ao meio externo (MARTINS et al., 1999). Esses valores variam, dentre outros fatores, conforme o tipo de plástico (composição química, espessura) e com o ângulo de elevação do sol (estação do ano e hora do dia).

De acordo com Tapia (1981 apud CUNHA; ESCOBEDO, 2003), o polietileno de baixa densidade transparente (PEBD) é o material plástico mais empregado na agricultura como cobertura de ambientes protegidos, apresentando em torno de 70 a 90% de transmissividade à radiação de ondas curtas e em torno de 80% à radiação de onda longa. Segundo a FAO (1990), o valor médio da transmissividade à radiação de ondas curtas para o polietileno de baixa densidade (PEBD) situa-se em torno de, aproximadamente, 80%. Porém, esse valor diminui com a idade do material, com a presença de impurezas e, principalmente, com a condensação de vapor d'água na superfície interna do filme de cobertura.

Estudos realizados por Farias et al. (1993a), no campus da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), de 10 a 21 de novembro de 1989, cultivando feijão-vagem com estufa tipo “capela” coberta com PEBD de 0,1mm de espessura, demonstraram que 83% da radiação solar global verificada externamente, ao redor das 12 horas, penetrou para o interior da estufa, variando este percentual de 65 a 90%. Em dia de céu limpo, em média, 45% da radiação solar interna correspondeu à radiação difusa, ao passo que, externamente, o percentual foi de 24%, evidenciando o efeito dispersante da cobertura plástica. Ao longo de um dia, observou-se que a maior transmissividade da cobertura plástica à radiação solar (93%) ocorreu das 14 às 16 horas, sendo menor nos horários próximos ao nascer e pôr-do-sol (52 e 77%, às 8 e 17 horas, respectivamente), mostrando que a transmissibilidade da cobertura varia em função do ângulo de incidência da radiação solar. Concluíram os autores que a cobertura plástica apresenta uma parcial transmissividade à radiação solar global e aumenta a fração da radiação solar difusa no interior da estufa.

Camacho et al. (1995), também no Campus da UFPel, visando quantificar a modificação na disponibilidade de radiação solar e na temperatura do ar no interior de estufa plástica tipo “túnel alto”, coberta com polietileno de baixa densidade de 0,1mm de espessura, orientada no sentido norte-sul, entre 01/11/92 e 30/11/93, obtiveram uma transmissividade à radiação solar global média de 78%, variando de 65% a 89%, sendo maior na primavera do que no outono. Destacaram que, durante o dia, a maior transmissividade da cobertura plástica ocorreu nas horas próximas do meio-dia e que a fração difusa da radiação solar foi maior no interior da estufa.

O aumento da radiação difusa dentro do ambiente protegido é bastante desejável, por esta ser mais eficiente para a fotossíntese, pois é multidirecional e

penetra melhor no dossel vegetal, o que compensa em parte a parcial opacidade do filme plástico da cobertura das estufas à radiação solar global.

Quanto à orientação geográfica das estufas, Assis e Escobedo (1999), em Botucatu-SP, durante o período de 7 de dezembro de 1995 a 20 de dezembro de 1996, analisaram os valores de transmissividade da radiação solar em estufas de polietileno tipo túnel com orientações diferenciadas (norte-sul e leste-oeste), através do uso de piranômetros instalados dentro e fora das estufas. A orientação leste-oeste apresentou transmissividade entre 66% e 78%, permitindo que mais de 70% da radiação fosse transmitida durante 11 meses, enquanto que a norte-sul variou entre 55% e 77%. De modo geral, houve uma prevalência da estufa leste-oeste sobre a norte-sul em torno de 9 %. Segundo os autores, as diferenças maiores foram observadas entre os meses de março e agosto, período em que o sol apresenta baixos ângulos de elevação solar sendo que a orientação leste-oeste apresentou-se mais vantajosa do que a norte-sul.

Outro fator de redução da radiação solar dentro do ambiente protegido são os materiais estruturais utilizados no interior da estufa, que absorvem parte da radiação que penetra no seu interior. Estruturas metálicas e de pequeno diâmetro são preferíveis aos moirões e vigas de madeira. É importante que os materiais utilizados internamente sejam pintados com tintas refletivas, preferencialmente, de cor branca ou metálica. O solo também pode ser revestido com filme de polietileno com as mesmas propriedades refletoras, para reduzir simultaneamente as perdas de energia e a evaporação (ANDRIOLO, 1999).

O limite trófico de uma cultura significa o nível de radiação solar global incidente sobre a cultura que possibilita a produção mínima de assimilados necessária para sua manutenção. Abaixo do limite trófico, a planta não sobrevive e, acima, o acúmulo de matéria seca se torna possível. Para hortaliças de verão como: tomateiro, berinjela, pimenteiro, pepineiro, meloeiro, aboboreira e outras (ANDRIOLO, 1999; BURROL et al., 2005), o limite trófico tomado como referência é de aproximadamente $8,4\text{MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ (FAO, 1990).

Visto que o ambiente protegido, devido principalmente ao material de sua cobertura, atenua a radiação incidente sobre a cultura, para o sucesso de qualquer cultivo neste ambiente, no que tange ao manejo da radiação solar disponível às plantas, primeiramente é fundamental a determinação adequada da(s) época(s) de

implantação do cultivo ao longo do ano de forma que o crescimento da cultura ocorra durante períodos com radiação solar dentro do ambiente acima do limite trófico.

A exemplo disto, Buriol et al. (2005) determinaram a disponibilidade de radiação solar para os seis meses mais frios do ano no Estado do Rio Grande do Sul, objetivando o cultivo de hortaliças de verão em ambiente protegido. Utilizaram as médias mensais de radiação solar global estimada a partir da insolação média mensal de 31 Estações Meteorológicas, sendo que, dos valores médios de radiação solar, foi subtraída a fração de 20%, considerando que o filme plástico utilizado nas estufas transmite em torno de 80% da radiação solar incidente. Constataram que, nos meses de junho e julho, os valores médios de radiação solar em todo o Estado estão abaixo de $8,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e que, no mês de maio, em algumas regiões, também estão abaixo deste valor. Em função disso, recomendam que a semeadura ou o transplante no interior das estufas sejam realizados de tal forma que o período de floração e produção das plantas não ocorra nos meses de junho e julho.

A radiação líquida remanescente sobre um agroecossistema é o seu principal aporte energético natural, sendo a energia que fica disponível para o processo de evapotranspiração, de aquecimento do ar e do solo e para a fotossíntese e metabolismo das plantas (SCHIEDECK, 2002). Essa energia é a diferença entre os fluxos totais da radiação incidente e a “perdida” (emitida e/ou refletida) por uma superfície. Ao longo do dia, nas horas de brilho solar, a radiação líquida (saldo de radiação) em uma superfície qualquer tende a ser positiva, pois os fluxos incidentes (global e atmosférico) são superiores às frações refletidas e emitidas. Por outro lado, durante a noite, os valores da radiação líquida tendem a ser negativos, pois o fluxo incidente passa a ser somente atmosférico e a energia emitida pela superfície tende a ser superior a este, resultando em uma radiação líquida negativa.

Parte da radiação solar global incidente sobre um meio é refletida na forma de ondas curtas. Essa radiação refletida é representada no balanço de radiação pelo coeficiente de reflexão, também chamado de reflectância ou albedo, conceitualmente definido como a fração da radiação solar incidente que é refletida pela superfície terrestre para a atmosfera. O albedo de uma determinada superfície está relacionado com os seguintes fatores: tipo de cobertura do solo (rugosidade,

coloração e brilho), umidade do solo, espécie cultivada, estado nutricional, adensamento e arquitetura foliar das plantas, ângulo de incidência dos raios solares (época do ano e hora do dia), características da irradiância (quantidade, radiação direta, difusa e global) (RIBEIRO et al., 2006).

Frisina e Escobedo (1999), em experimento com a cultura da alface cultivada em estufa tipo túnel alto com cobertura de polietileno e numa área externa, em Botucatu-SP, no período de 27/9/96 a 11/11/96, obtiveram que a média do saldo de radiação de ondas curtas foi de $16,43 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ na área externa e de $12,84 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ no interior da estufa. Na área externa, o percentual do saldo de radiação de ondas curtas médio foi de 85% da radiação global nos primeiros 25 dias e de aproximadamente 80% na segunda fase. No interior da estufa, o percentual foi de 88% na primeira fase, e de 80% após o vigésimo quinto dia. Conforme os autores, esta redução, tanto na área externa quanto na interna, ocorreu provavelmente devido ao crescimento de área foliar da cultura, ocasionando aumento do albedo e, portanto, redução do saldo de radiação de ondas curtas. Os saldos de radiação total na cultura externa e interna apresentaram comportamentos aproximadamente similares, com pequena superioridade de saldo do ambiente externo. Em termos médios, o saldo de radiação total externo apresentou o valor de $11,83 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, e o interno, média de $10,53 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Em termos médios, o percentual do saldo de radiação total em relação à radiação global foi de 59,26%, na cultura externa, e de 68,39% na cultura interna, percentuais estatisticamente diferentes. Quanto ao saldo de radiação de ondas longas, obtiveram que, em média, o saldo de ondas longas externo foi maior que o interno, apresentando os seguintes resultados: $-4,60 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ na cultura externa, e $-2,32 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ na interna. Em média, os percentuais foram: -37,92% na área externa, e -20,99% dentro da estufa. Por fim, os autores concluíram que: a razão entre as radiações refletidas, interna e externa, apresenta variação ao longo do ciclo, provavelmente devido ao maior crescimento da cultura dentro da estufa; o saldo de radiação de ondas curtas, maior no exterior do que no meio interno, não caracteriza maior nível de conversão da energia da radiação global e a perda de radiação por emissão de radiação de ondas longas é maior no meio externo.

Galvani et al. (1999), em Botucatu-SP, de 13 de maio a 11 de setembro de 1998, em estufa de PEBD de $120 \mu\text{m}$ com cultivo de pepino, avaliaram, ao longo do

ciclo da cultura, as irradiâncias global e refletida dentro e fora de estufa e, a partir desses parâmetros, determinaram o saldo de radiação de ondas curtas (SRoc) e o albedo. O SRoc, ao longo do ciclo da cultura do pepino, apresentou valores de $968,47 \text{ MJ m}^{-2}$ para a condição interna e $1337,67 \text{ MJ m}^{-2}$ para a condição externa, representando os valores internos um percentual de 72,4% daqueles obtidos externamente, mostrando que o SRoc está diretamente relacionado à transmissividade do polietileno (70% de acordo com o fabricante). O albedo interno médio para o ciclo da cultura foi de 0,16 (máximo de 0,20 e mínimo de 0,11) e o albedo externo apresentou valor médio de 0,18 com 0,25 e 0,11 como valores máximos e mínimos, respectivamente. A variação do albedo ao longo do ciclo da cultura foi devida à percentagem de cobertura do solo (IAF), da arquitetura da planta e também do ataque de pragas e doenças ao longo do ciclo.

Schiedeck (2002), no campus da Universidade Federal de Pelotas, entre fevereiro e abril de 2000, verificou o balanço de radiação em meloeiro cultivado em estufa plástica do tipo “túnel alto”. Constatou que a radiação líquida diária (R_{n24h}) representou, em média, 53% da radiação global (R_g), variando entre 60% e 46%, e em relação ao balanço de ondas curtas (BOC) representou, em média, 70%, oscilando entre 84 e 61%. O BOC correspondeu, em média, a 76% da R_g , variando entre 81 e 70%; no entanto, o balanço de ondas longas (BOL) representou em módulo 21% da R_g e 28% do BOC, apresentando, ao longo do experimento, um comportamento inverso ao da R_g e do BOC, ou seja, aumentou seus valores no decorrer do tempo. Quanto ao albedo, obteve como valor médio 0,24, variando, ao longo do experimento, entre o máximo de 0,30 e mínimo de 0,19. De acordo com o autor, os elementos do balanço de radiação são influenciados pelas condições meteorológicas externas e pelo manejo e condição sanitária das plantas.

Cunha et al. (2001), em Botucatu-SP, cultivando pimentão em ambiente protegido, obtiveram uma produtividade de $9,29 \text{ Kg m}^{-2}$ contra $6,66 \text{ Kg m}^{-2}$ do cultivo de campo, com um saldo de radiação total de $1441,18 \text{ MJ m}^{-2}$ no cultivo protegido e de $1879,33 \text{ MJ m}^{-2}$ em campo. Assim, os autores constataram que, apesar do cultivo protegido ter menos energia líquida disponível para o crescimento e desenvolvimento da cultura, apresenta acréscimo maior na altura, na matéria seca total e no índice de área foliar, mostrando-se mais eficiente na conversão desta energia em MJ por Kg de fruto produzido em 1 m^2 .

Ribeiro et al. (2006), em Pelotas, no mesmo local utilizado neste trabalho, em experimento com abóbora italiana no ciclo de verão-outono (16/03/06 a 10/05/06), considerando uma dose de vermicomposto bovino sólido como adubação orgânica, obtiveram como albedo médio ao longo do ciclo da cultura (ciclo total) o valor de 0,23. Entre o transplante e o início do florescimento, obtiveram um albedo médio de 0,17. Entre o início do florescimento e o início da colheita de frutos, um albedo médio de 0,21 e, por fim, do início da colheita até o fim do ciclo (55 DAT), obtiveram um albedo médio de 0,29.

2.3.1.2 Temperatura

A temperatura do ar exerce influência sobre vários aspectos da produtividade vegetal, estando relacionada com o crescimento e desenvolvimento das plantas, devido ao seu efeito na velocidade das reações químicas e dos processos internos de transporte. Esses processos ocorrem de forma adequada somente entre certos limites térmicos, sendo a tolerância aos níveis de temperatura variável entre espécies e variedades (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

No interior do ambiente protegido, ocorre um interessante processo alimentado pela radiação solar, chamado efeito estufa, responsável pelo maior aquecimento do interior em relação ao exterior. A radiação solar que penetra no interior do ambiente protegido, chamada radiação de ondas curtas, é parcialmente absorvida pelo solo, plantas e objetos presentes neste meio (estruturas metálicas, moirões, vigas de madeira, etc.), sendo parte convertida em energia térmica, chamada radiação de ondas longas. Esta radiação térmica é irradiada para o espaço e, ao atingir algum material opaco (como deveria ser a cobertura plástica), fica retida neste ambiente, proporcionando uma elevação na temperatura do ar (efeito estufa). Quanto maior a transmissividade do material de cobertura à radiação de onda curta e menor à de onda longa, maior será o efeito estufa.

De acordo com Andriolo (2002), os materiais plásticos que são empregados atualmente (ex.: PEBD) são permeáveis às radiações de onda longa e, por esse motivo, o efeito estufa é muito pequeno com esses materiais. O ganho térmico provém basicamente da “estocagem” da energia solar durante o dia e seu “consumo” durante a noite para retardar o abaixamento da temperatura. Entretanto, segundo o

autor, quando existe condensação de vapor d'água na superfície interna da cobertura, ocorre redução na transmissividade da radiação nas duas direções, fenômeno que contribui para reduzir as perdas de energia armazenada durante o dia, aumentando o ganho térmico no interior do ambiente protegido.

O efeito do ambiente protegido sobre a temperatura do ar está diretamente relacionado com o seu efeito sobre o balanço de energia do ambiente, sendo, desta forma, dependente de fatores que determinam seu comportamento com relação a este balanço, tais como: tamanho e formato da estufa, condições e propriedades óticas do material de cobertura, tipo de solo, vedação das paredes e condições meteorológicas do ambiente externo.

Buriol et al. (1993), em Santa Maria e São Pedro do Sul, avaliaram a temperatura mínima do ar no interior de três modelos distintos de estufas (Capela, Túnel Alto e Santiago) com manejo diferenciado da ventilação. Em relação ao período total de observação da temperatura, os resultados evidenciam que, em média, os valores da temperatura mínima diária do ar medida a 150cm da superfície do solo sempre foram mais elevados no interior das estufas independentemente do tipo de estufa e ventilação empregadas, apesar de não haver diferença significativa nas medidas obtidas com as estufas Capela 1 (extremidades abertas nas horas mais quentes) e Capela 2 (metade superior das janelas laterais permanentemente abertas). Quando houve controle na ventilação, as diferenças médias entre as temperaturas mínimas entre o ambiente interno e externo oscilaram entre 0,8°C e 2,3°C. Segundo os autores, esse resultado evidencia que a vedação das estruturas é um dos principais fatores responsáveis pela redução das perdas energéticas do interior da estufa para o ambiente externo, visto que, quando a ventilação ocorreu por menor tempo, as diferenças foram maiores. Os dados mostraram também que, apesar da diferença média entre o interior da estufa e o ambiente externo ter sido positiva, ocorreram muitos dias em que a diferença foi negativa, ou seja, ocorreu a "inversão térmica", fato associado principalmente aos dias com ventos fortes, que, conforme os autores, renovam constantemente a camada de ar junto à superfície do ambiente externo, evitando que a temperatura do ar seja muito baixa. Isso não ocorre no ambiente interno, de modo que este sofre um ininterrupto processo de resfriamento do ar devido, tanto às perdas energéticas por radiação, quanto à condução-convecção através do filme de cobertura. Os autores expuseram que

esses resultados divergem de trabalhos realizados na Europa os quais mencionam que a "inversão térmica" ocorre em noites limpas, frias e com brisa, o que, provavelmente, segundo eles, esteja associado à baixa umidade do ar desses locais, que dificilmente permite a ocorrência da formação de uma camada de vapor d'água condensada na face interna do plástico, comum na região de Santa Maria, a qual dificulta a perda de energia radiante emitida internamente na estufa. A temperatura mínima diária do ar também foi medida a 5cm da superfície do solo, tendo apresentado sempre valores significativamente mais elevados no interior das estufas, independentemente do tipo de estufa e ventilação. A diferença média entre ambiente interno e externo oscilou de 1,6 a 3,1°C e, comparativamente, foi mais elevada que a diferença das temperaturas mínimas do ar medidas a 150cm da superfície do solo nos dois ambientes.

Farias et al. (1993b), em experimento com a cultura do feijão-de-vagem, conduzido no Campus da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Capão do Leão-RS, de agosto de 1989 a janeiro de 1990, em estufa plástica tipo capela coberta com polietileno de baixa densidade (PEBD) de 100µm, orientada no sentido N-S e laterais móveis (fechadas das 18 às 8 horas), observaram uma tendência natural de a temperatura média do ar elevar-se à medida que se aproximou o verão, sendo de -0,6°C a 1,1°C a diferença entre os valores observados interna e externamente. O maior efeito estufa foi verificado sobre as temperaturas máximas, ficando entre 1,2°C e 4,4°C acima da externa (média por decêndio). Quanto às temperaturas máximas absolutas, na maior parte dos decêndios, foram maiores internamente (entre 0,5°C e 6,4°C). Já as temperaturas mínimas apresentaram valores semelhantes, obtendo-se diferenças de temperatura mínima média por decêndio, entre os valores observados interna e externamente, de -1,0°C a 1,4°C, enquanto que a temperatura mínima absoluta do ar verificada internamente em nenhum momento foi inferior à ocorrida externamente, sendo que a diferença entre elas variou de 0 a 4,6°C.

Camacho et al. (1995), também nas condições climáticas do Campus da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), com estufa do tipo "túnel alto", comparando as médias decendiais das temperaturas, observaram que o maior efeito da cobertura de PEBD (0,1mm de espessura) sobre a temperatura do ar ocorreu em seus valores máximos, verificando valores superiores em condição interna. Sobre a temperatura mínima, encontraram valores inferiores em condição interna entre os

meses de junho e outubro, inversão térmica que foi associada a maior perda de energia do ambiente interno em noites de céu limpo e vento calmo. Isso se deve, segundo os autores, a elevada transmissividade do PEBD à onda longa na ausência de camada de condensação de vapor d'água, à perda de energia por processo de condução-convecção através da cobertura, pelas aberturas existentes e pelo fluxo de calor no solo e, pela inexistência dentro do ambiente interno, em decorrência do fechamento da estufa à noite, dos movimentos horizontais e verticais de massa de ar que transportam energia térmica aquecendo o ambiente externo por substituição e mistura de camadas de ar.

Buriol et al. (1997), analisando a influência do manejo da ventilação da estufa sobre a temperatura, em Santa Maria (RS), utilizaram estufas tipo túnel baixo de PEBD de 100µm, cultivadas com alface, e três manejos de ventilação: abertura das laterais às 8h e fechamento às 12h (T1); abertura às 8h e fechamento às 16h (T2); manejo convencional, ou seja, abertura e fechamento determinado de acordo com as condições meteorológicas do dia (T3). A testemunha (T4) constou de um canteiro sem túnel (ambiente externo). Observaram que as temperaturas médias e máximas sempre foram maiores no interior dos túneis do que no exterior, obtendo-se diferenças de até 3°C no período noturno. Em T1, que permaneceu mais tempo fechado, as temperaturas foram mais elevadas. Em T3, que nos dias frios era aberto mais tarde e fechado mais cedo e nos dias quentes aberto mais cedo e fechado mais tarde, as temperaturas tiveram um comportamento intermediário entre T1 e T2. Segundo os autores, os valores de temperatura média horária do ar mostraram que, no período noturno, as diferenças entre os tratamentos foram menores do que no período diurno, indicando que a influência dos túneis sobre a temperatura é mais importante na soma dos graus-dia do que na elevação das mínimas diárias, evidenciando o reduzido “efeito estufa” do polietileno de baixa densidade (PEBD).

Cunha e Escobedo (2003), no município de Botucatu (SP), no cultivo de pimentão utilizando ambiente protegido tipo arco não-climatizado orientado no sentido NNW-SSE, coberto com PEBD de 120µm e tela plástica preta fixa nas laterais com 50% de transmissividade para a radiação solar, observaram valores médios de temperaturas mínimas para os cultivos protegidos ligeiramente superiores aos do campo, em torno de 0,1°C. Segundo os autores, o fato dos valores da temperatura mínima do cultivo protegido estarem muito próximos dos observados no

campo pode ser devido à grande transmissividade do PEBD à radiação de ondas longas, fazendo com que haja pouco armazenamento de energia no seu interior. Com relação aos valores máximos diários de temperatura do ar, estes foram muito superiores no cultivo protegido em relação ao de campo ao longo do período analisado, apresentando valores médios superiores de temperatura máxima do ar de 2,8°C. Os autores associaram tal resultado à inibição do processo convectivo em função da reduzida velocidade do vento, e ao maior armazenamento de calor sensível pelo ar atmosférico no interior da estufa em função da retenção de radiação de onda longa. Os autores ainda acrescentam que, em termos de valores médios de temperatura do ar, tanto para as condições de cultivo protegido como de campo, estes foram similares (0,7°C superior para cultivo protegido).

2.3.1.3 Umidade do ar

A umidade do ar influencia a demanda evaporativa da atmosfera e, por conseqüência, o consumo de água das culturas; é um elemento de importante controle no ambiente protegido, pois tanto valores muito baixos quanto muito altos de umidade dentro desse ambiente são prejudiciais ao desenvolvimento das culturas. O excesso de umidade dentro do ambiente protegido provoca, por exemplo, dentre outros fatores, a redução na transmitância da radiação solar devido à condensação de vapor d'água na face interna do filme plástico, afetando negativamente a disponibilidade de energia para as plantas; interfere na transpiração das plantas, alterando seu desenvolvimento bem como favorece o surgimento de moléstias tanto na parte aérea como nas raízes. Conforme Fontes e Silva (2005), a faixa de umidade relativa do ar aconselhada para a maioria das espécies olerícolas está em torno de 60% a 80%.

De acordo com Buriol et al. (2000), a variação da umidade do ar no interior das estufas depende principalmente da temperatura do ar e da ventilação, sendo que, por sua vez, a temperatura do ar varia principalmente em função da densidade de fluxo de radiação solar incidente e da própria ventilação, a qual depende da área, localização e manejo das aberturas e da velocidade de troca do ar do interior com o exterior. Assim, a umidade relativa do ar no interior das estufas no período diurno diminui nas horas em que a temperatura do ar encontra-se em elevação, atingindo, muitas vezes, valores inferiores aos verificados no exterior. No período noturno, em

função da queda de temperatura, ocorrem valores de umidade relativa do ar elevados, freqüentemente próximos a 100%. De acordo com Martins et al. (1999), a umidade relativa do ar dentro do ambiente protegido pode variar, no período de 24 horas, de 30% durante o dia a 100% durante a noite.

Farias et al. (1993b) observaram, no início do experimento, quando a cultura estava pouco desenvolvida, que os valores internos de umidade relativa do ar foram inferiores aos observados externamente, ocorrendo, em seguida, um período de equilíbrio entre os dois ambientes. Após o sétimo decêndio, os valores internos mostraram-se superiores aos observados externamente. Neste período, a cultura bastante desenvolvida liberou maior volume de água pela transpiração e, também, pela maior freqüência de irrigação (devido ao maior consumo de água pela cultura), provocando um aumento da tensão de vapor d'água interna e, conseqüentemente, da umidade relativa do ar no interior da estufa, acentuada pela pequena renovação da massa de ar. Em geral, observaram valores muito próximos (média por decêndio) de umidade relativa do ar internamente e externamente ao plástico. No entanto, verificaram as maiores médias das máximas e as menores médias das mínimas no interior da estufa, diferindo em média, respectivamente, 2,2 e 5,8% dos valores observados externamente. Desta forma, observaram que a estufa plástica aumentou a amplitude diária da umidade relativa do ar, mas não alterou significativamente os valores médios.

Buriol et al. (1997) verificaram que tanto a umidade relativa mínima média quanto a umidade relativa mínima absoluta ocorrida em cada dia do período experimental foram mais elevadas sob os túneis do que no ambiente externo. As diferenças entre os diferentes tratamentos com túneis foram pequenas; porém, os valores de umidade relativa do ar para cada horário foram mais elevados no interior daqueles que se encontravam fechados no momento da medida. Com relação à umidade relativa média, esta também foi maior internamente e, segundo os autores, principalmente devido ao alto valor da pressão parcial de vapor, à baixa renovação de ar e também à umidade do solo geralmente mais elevada no interior das estufas, fazendo com que a pressão atual de vapor permaneça mais elevada nestes microambientes, mesmo nos momentos de ocorrência de altas temperaturas.

Em Santa Maria - RS, Buriol et al. (2000) determinaram as diferenças entre a umidade relativa do ar no interior e no exterior de estufas plásticas com cultivo de

tomateiro. Os resultados mostraram que a umidade relativa do ar média foi superior no interior das estufas em relação àquela do exterior, em todo o período noturno, e, no período diurno, só foi inferior àquela do exterior nas horas do dia em que ocorre elevação da temperatura do ar, no período entre 8h e 14h, aproximadamente. Entretanto, nos meses de inverno, quando as temperaturas do ar são mais baixas e os dias mais curtos, nos dias frios e nublados, quando as estufas são mantidas fechadas todo o dia e/ou abertas mais tarde e fechadas mais cedo, a umidade relativa do ar no interior das estufas geralmente permaneceu mais elevada do que aquela do exterior durante todo o período diário. Observaram, também, que a pressão atual de vapor foi mais elevada no interior do que no exterior das estufas, mesmo quando a umidade relativa do ar no interior foi menor do que no exterior e que o manejo das aberturas das estufas afeta significativamente os valores da umidade relativa do ar.

Sousa et al. (2002), em Botucatu, SP, em pesquisa com o cultivo de pimentão, conduzida em ambiente protegido tipo arco não-climatizado tendo nas laterais malha preta de polipropileno com redução de 50% da radiação solar, objetivando avaliar o efeito de dois tipos de cobertura plástica, polietileno difusor de luz espessura de 150 μ m (P150d) e polietileno transparente de 120 μ m (P120), sobre as condições microclimáticas internas desse ambiente, observaram que, nos ambientes protegidos cobertos com P150d e P120, as médias de umidade relativa do ar mínima, máxima e média, apresentaram valores mais baixos em relação à condição de cultivo a campo. Isso foi associado ao aumento da temperatura do ar no interior do ambiente protegido, devido à pequena renovação do ar nessa condição de cultivo, que favoreceu a retenção de energia pelo polietileno e reduziu, conseqüentemente, a umidade relativa do ar. Os valores da umidade relativa mínima e média do ar, obtidos para o ambiente protegido com cobertura de P150d com relação ao cultivo a campo, foram menores em 7% e 5%, respectivamente, quando comparados com os obtidos para o P120, o que se atribui, segundo os autores, aos maiores valores da temperatura máxima e média do ar obtidos para o P150d.

Silva et al. (2000), Cunha e Escobedo (2003) e Guiselini e Sentelhas (2004) obtiveram, em seus respectivos experimentos, valores de umidade relativa máxima e média do ar no interior da estufa plástica, similares aos obtidos a campo; para a umidade relativa do ar mínima, encontraram menores valores dentro da estufa do

que a campo, o que foi associado aos maiores valores de temperatura máxima ocorridos dentro da estufa.

2.3.2 Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa em fitomassa

A radiação solar é praticamente a única fonte de energia para os processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem nos vegetais. A produção de matéria seca de uma planta depende da quantidade de radiação solar interceptada e absorvida pelas folhas, e da eficiência com que as folhas convertem a energia radiante em energia química através da fotossíntese. Contudo, somente uma fração do espectro solar é utilizada pelas plantas para o processo de conversão, denominada radiação fotossinteticamente ativa (PAR), que se encontra dentro da faixa espectral de 400 a 700nm, faixa onde ocorre a excitação das moléculas de clorofila dando início ao fluxo de energia requerida na fotossíntese (LARCHER, 2000).

A eficiência de conversão da radiação solar em fitomassa (ou rendimento energético) é obtida pela relação entre o total de matéria seca produzido pela cultura (g m^{-2}) e o total de radiação solar acumulado durante o ciclo da cultura (MJ m^{-2}). As relações baseadas na quantidade de radiação solar e na eficiência de sua conversão em matéria seca têm sido utilizadas por diversos autores com a finalidade de estimar ou de analisar o crescimento de diferentes culturas. Apesar de o conceito de eficiência de uso da radiação solar referir-se à radiação fotossinteticamente ativa interceptada ou absorvida pela planta, também poderá ser expressa em função dos totais de radiação global e radiação fotossinteticamente ativa incidente (PEIL, 2000).

Radin et al. (2003) avaliaram a eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo tomateiro cultivado em diferentes ambientes (estufa de plástico com e sem tela lateral antiinsetos e fora da estufa), em duas épocas (primavera-verão e verão-outono), no ano agrícola de 1999/2000. Como resultados, considerando a PAR interceptada pela cultura, obtiveram que a eficiência de uso da PAR no ambiente fora da estufa foi de 1,39 e 1,46 g MJ^{-1} nas primeira e segunda épocas, respectivamente. No ambiente sem tela, os valores de eficiência de uso da radiação foram de 2,06 e 2,43 g MJ^{-1} , e no ambiente com tela foram de 2,00 e 2,72 g MJ^{-1} , na primeira e na segunda época, respectivamente. Na média das duas épocas

de cultivo, a eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa foi maior nos ambientes com tela e sem tela do que no ambiente fora da estufa, embora neste a radiação incidente acumulada tenha sido maior. De acordo com os autores, a presença de tela propiciou distribuição mais uniforme da radiação dentro do dossel vegetal, favorecendo a expansão foliar e, conseqüentemente, a eficiência de uso da radiação.

Beckmann (2004), em cultivo de tomateiro em ambiente protegido sob adubação orgânica a base de vermicomposto bovino sólido - VBS, no período de janeiro a junho de 2003, no campus da Universidade Federal de Pelotas, na mesma estufa utilizada neste trabalho, obteve que a PAR incidente sobre a cultura apresentou um valor médio de $3,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, representando em média 40% da radiação global incidente dentro do ambiente protegido. A autora analisou também a eficiência de uso da radiação solar (rendimento energético) a partir da PAR incidente sobre a cultura, obtendo os valores de 1,50, 1,50 e $1,40 \text{ g MJ}^{-1}$, para os tratamentos de adubação mineral, adubação com duas doses de VBS e com uma dose de VBS, respectivamente. Esses resultados, segundo a autora, estão de acordo com outros trabalhos para a mesma cultura, sendo que as diferenças observadas foram atribuídas às diferenças na densidade de plantio, hábito de crescimento da cultura e sistemas de poda e desbaste foliar.

Aldrighi (2004), em Pelotas, em estufa plástica tipo “túnel alto”, com cultivo de berinjela no período de fevereiro a julho de 2001, obteve, como eficiência de conversão da PAR interceptada em fitomassa da cultura, o valor de $0,62 \text{ g MJ}^{-1}$, para uma PAR interceptada acumulada de $431,22 \text{ MJ m}^{-2}$.

Em Pelotas, também no mesmo local utilizado neste trabalho, Ribeiro et al. (2007), em experimento com abóbora italiana cultivada com diferentes doses de adubação orgânica (vermicomposto bovino sólido) em ambiente protegido, no ciclo de verão-outono (16/03/06 a 10/05/06), avaliaram a eficiência de conversão da PAR para a produção de fitomassa a partir da PAR incidente (para todos os tratamentos). Os resultados demonstraram que a eficiência de conversão da radiação em fitomassa em função da PAR incidente sobre a cultura sofreu influência da dose de adubação orgânica, pois apresentou o menor valor para o cultivo sem biofertilizante ($0,50 \text{ g MJ}^{-1}$), com aumento progressivo entre uma dose ($0,99 \text{ g MJ}^{-1}$) e duas doses ($1,67 \text{ g MJ}^{-1}$) do biofertilizante.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área Experimental

O experimento foi realizado no período de setembro a dezembro de 2006, na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM) no Campus da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), localizado no município de Capão do Leão, Rio Grande do Sul, tendo como coordenadas geográficas aproximadas uma latitude de 31°52' sul, longitude 52°21' oeste e altitude de 13m.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima do local é do tipo Cfa, clima temperado com chuvas bem distribuídas e verão quente.

As observações meteorológicas externas ao ambiente protegido (Apêndice A), relativas ao período do experimento, foram obtidas na Estação Agroclimatológica da UFPel/Embrapa, situada aproximadamente a 500m do local do experimento.

O solo da área experimental é classificado como Planossolo Háplico Eutrófico Solódico (EMBRAPA, 2006).

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, estufa plástica modelo “teto em arco”, disposta no sentido leste-oeste, com 10m de largura por 18m de comprimento (180m²), pé direito lateral de 3,0m e cumeeira de 4,5m na parte central, com estrutura de ferro galvanizado e aberturas para ventilação através de duas portas situadas uma em cada extremidade e cortinas laterais. O tipo de filme plástico utilizado para cobertura da estufa foi o polietileno de baixa densidade (PEBD), com espessura de 150µm e com aditivo anti-ultravioleta.

O manejo do ambiente protegido consistiu na abertura das portas e das cortinas, as quais tinham a função de regular a ventilação, permitindo a renovação do ar e evitando a elevação excessiva da temperatura do ar diurna e da umidade

relativa do ar. As portas e janelas foram abertas no início da manhã (entre 8h e 8h30min) e fechadas ao final da tarde (entre 17h e 18h). Em dias de precipitação, com ventos fortes, temperatura do ar baixa e/ou com elevada umidade relativa do ar, manteve-se o ambiente total ou parcialmente fechado.

3.2 Arranjo experimental

A cultura utilizada foi a abóbora italiana (*Cucurbita pepo* L. var. *melopepo* cv. Caserta). A escolha da cultivar Caserta foi baseada nas características agrônômicas (ciclo curto, produtividade, planta robusta) e devido a sua grande aceitação pelo mercado consumidor brasileiro (FILGUEIRA, 2003; CAMARGO, 1992). Foram testados diferentes tratamentos de adubação orgânica à base de vermicomposto bovino sólido (VBS), obtido por vermicompostagem, utilizando-se a minhoca vermelha-da-califórnia (*Eisenia foetida*).

A análise química do solo (Tabela 1) e a do vermicomposto bovino sólido (Tabela 2) foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos (LAS) do Departamento de Solos da FAEM/UFPel, segundo procedimentos descritos por Tedesco, Volkweiss e Bohnen (1995).

Tabela 1 – Resultado e interpretação da análise química de solo por tratamento de adubação do local de cultivo da abóbora italiana em Pelotas-RS, 2006.

Tratamento*	Argila (%)	pH	ISMP	MO (%)	P	K	Na	Al	Ca	Mg
					(mg dm ⁻³).....			(cmol _c dm ⁻³)....		
1	8	5,6 (M)	6,4	1,8 (B)	>50,2 (MA)	22 (B)	63	0,0	6,7 (A)	1,6 (A)
2	7	5,7 (M)	6,7	2,1 (B)	>50,2 (MA)	22 (B)	64	0,0	8,1 (A)	1,7 (A)
3	12	5,1 (B)	6,1	1,9 (B)	9,9 (B)	16 (MB)	38	0,5	3,7 (M)	1,6 (A)

*Tratamento 1, uma dose de vermicomposto bovino sólido (VBS); Tratamento 2, duas doses de VBS; Tratamento 3, três doses de VBS.

Obs.: as letras entre parênteses representam a interpretação do respectivo valor acima, conforme legenda: (MB) muito baixo; (B) baixo; (M) médio; (A) alto; (MA) muito alto. Fonte: LAS/FAEM/UFPel – ROLAS (2004).

Tabela 2 – Caracterização química do vermicomposto bovino sólido utilizado como adubo orgânico no cultivo da abóbora italiana em Pelotas-RS, 2006.

pH	C/N	Umidade	C	N	P	K	Ca	Mg
		%.....						
6,95	14	65,5	26,9	1,94	0,62	2,7	4,38	0,22

A partir da análise química do solo e do vermicomposto bovino sólido, foi determinada a calagem necessária e as quantidades exigidas de adubo orgânico, de acordo com os tratamentos do experimento, conforme as recomendações da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos para o Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (ROLAS, 2004), com base nos nutrientes nitrogênio (N) e potássio (K), para a cultura utilizada. Os tratamentos utilizados foram os seguintes:

- Tratamento 1 – uma dose de vermicomposto bovino sólido;
- Tratamento 2 – duas doses de vermicomposto bovino sólido e
- Tratamento 3 – três doses de vermicomposto bovino sólido.

As doses correspondem, respectivamente, a uma, duas e três vezes a recomendação para a respectiva parcela ou canteiro.

Desde o ano de 2004 até o cultivo anterior ao deste trabalho, os canteiros dos tratamentos 1 e 2 vinham sendo adubados com uma e duas doses de vermicomposto bovino sólido, respectivamente, conforme a recomendação ROLAS (2004) para a cultura utilizada, e os canteiros do tratamento 3 vinham sendo utilizados sem adubação. Foram efetuados cultivos com as culturas de: tomate, morango e abóbora italiana (período de outono). Neste último cultivo, de acordo com Ribeiro et al. (em fase de elaboração)¹, os canteiros do tratamento 3 apresentaram baixa produtividade. Em virtude disso, neste experimento, como medida de recuperação do solo, optou-se pela realização da adubação desses canteiros aplicando-se três vezes a recomendação ROLAS (2004) de biofertilizante.

O experimento foi conduzido utilizando o delineamento experimental inteiramente ao acaso, constituído de três tratamentos com cinco repetições (parcelas). No apêndice B, está representado um croqui da estufa, demonstrando a distribuição dos tratamentos de adubação nas parcelas.

¹ RIBEIRO, D.; MENDEZ, M.; SCHÖFFEL, E.; PAULA, V.; FRAGA, D. [Produção orgânica de abóbora italiana cultivada em ambiente protegido durante o outono.] Não publicado, em fase encaminhamento a periódico científico.

3.3 Condução da cultura

A calagem foi realizada 36 dias antes do transplante das mudas; a adubação orgânica, 15 dias antes. Fez-se a mistura do calcário e do adubo com o solo, revolvendo-os para que estes não ficassem concentrados. A calagem foi realizada com calcário dolomítico ($\text{CaO} + \text{MgO}$) de 60% de poder relativo de neutralização total (PRNT), sendo aplicados 0,23, 0,08 e 0,45kg m^{-2} , nas parcelas dos tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente. Quanto à adubação orgânica, de acordo com a respectiva dose de adubação, foram colocados 1,3, 2,4 e 5,4kg m^{-2} de vermicomposto bovino sólido nas parcelas dos tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente.

A semeadura da abóbora italiana foi realizada em 18 de setembro de 2006, em sistema de bandejas flutuantes de poliestireno expandido de 72 células, preenchidas com substrato à base de cinza de casca de arroz (25%) e vermicomposto bovino sólido (75%), o mesmo utilizado para a adubação orgânica. Esta proporção é baseada em Morselli e Fernandes (2002). Em cada célula foram colocadas duas sementes, quando as mudas apresentaram a primeira folha verdadeira foi realizado o desbaste deixando apenas uma muda por célula.

O transplante foi realizado em 06 de outubro de 2006, quando as mudas apresentavam entre duas e três folhas definitivas (CAMARGO, 1992). Para melhor aclimatar as mudas, o transplante foi efetuado após as 15 horas. Nesta ocasião, o solo estava umedecido à capacidade de campo. Previamente ao transplante, abriu-se uma cova de modo a manter uma boa distribuição lateral e em profundidade do sistema radicular. As mudas foram transplantadas e distribuídas em 15 parcelas, cada uma com área útil de 5,4m² (4,5 x 1,2m) coberta com filme plástico preto de 0,05mm de espessura, visando diminuir a ocorrência de infestação por plantas invasoras, proteger os frutos basais, manter a umidade e diminuir as flutuações de temperatura no solo. Em cada parcela, foram colocadas 10 plantas distribuídas em duas linhas, no espaçamento de 0,9m entre plantas por 0,6m entre linhas, com as plantas desencontradas, numa densidade de 1,85 plantas m^{-2} de solo adubado, sendo de 1,2m o espaçamento entre as linhas duplas.

Embora a cultura apresente hábito de crescimento ereto, devido ao seu maior crescimento dentro do ambiente protegido, para impedir o tombamento das

plantas bem como permitir maior penetração da radiação solar e ventilação do dossel facilitando o desenvolvimento, foi realizado o tutoramento das plantas. Utilizaram-se fitilhos com uma extremidade presa na base de cada planta e a outra amarrada em um arame situado sobre a cultura, a 2m de altura, estendido horizontalmente ao longo de toda a estufa.

O sistema de irrigação utilizado foi do tipo localizado (gotejamento), composto por mangueiras flexíveis de polietileno acompanhando as linhas de cultivo, tendo-se para cada parcela um registro que permitia promover irrigação diferenciada, se necessário, entre os tratamentos de adubação.

As parcelas foram irrigadas de forma a manter a umidade do solo na capacidade de campo (-0,1 a -0,33atm). A determinação do potencial matricial da água no solo foi realizada através de três tensiômetros de coluna de mercúrio e cápsula porosa, instalados nas parcelas centrais do ambiente protegido, um para cada tratamento, à profundidade de 0,15m. Através da curva característica de retenção de água no solo, previamente estabelecida para cada tratamento (análise física), e das medidas diárias do potencial matricial da água no solo, realizadas nos tensiômetros, definiu-se, para cada tratamento, a relação entre a quantidade de água no solo e sua energia de retenção, indicando-se a quantidade de água a ser aplicada no manejo da irrigação.

Foram realizadas desfolhas para melhorar as condições de ventilação entre as plantas e eliminar as folhas senescentes e/ou atacadas por oídio (*Sphaerotheca fuliginea*). Em função do sistema de produção ser orgânico, não foi utilizado nenhum produto químico sobre a cultura. Como medida de controle de fungo, de acordo com Bettiol (2004), foi aplicado, na frequência de duas vezes por semana, leite cru de vaca diluído em água na concentração de 10%, mantendo os níveis de infecção em menos de 5% da superfície foliar.

A colheita foi realizada com os frutos em estado imaturo (ponto de comercialização) apresentando um comprimento entre 15 e 20cm (CAMARGO, 1992; FILGUEIRA, 2003).

3.4 Observações agronômicas

Ao longo do experimento, o ciclo da cultura foi subdividido nas seguintes fases de desenvolvimento fenológico:

- Fase I - crescimento vegetativo inicial (produção de mudas): da semeadura até o transplante;
- Fase II - crescimento vegetativo: desde o transplante até o início do florescimento;
- Fase III – florescimento e frutificação: do início do florescimento até o início da frutificação;
- Fase IV – frutificação e colheita: do início da frutificação até o fim do ciclo de cultivo.

Para o início do florescimento, foi estabelecida a presença de flores masculinas em 51% das plantas em cada parcela. Para o início da frutificação, foi estabelecida a presença de frutos em 51% das plantas em cada parcela.

A área foliar da abóbora italiana foi avaliada em cinco momentos do desenvolvimento da cultura pela média das plantas utilizadas. Na primeira avaliação, foram utilizadas seis mudas no estágio de transplante. Nas três avaliações seguintes, realizadas no 18º, 33º e 47º dia após o transplante, foram retiradas, por tratamento, duas plantas representativas do dossel da cultura. Na última avaliação, foram utilizadas quatro plantas por tratamento. Para a determinação da área foliar média (m^2 de folha por planta), foi utilizado um medidor de área foliar, marca LI-Cor (Lambda Instruments Corp.), modelo LI – 3100.

A produção de matéria seca total da cultura foi quantificada através de análise das plantas (quatro plantas por tratamento) ao final do experimento, incluindo os frutos colhidos durante o processo produtivo, bem como as folhas provenientes da desfolha antecipada. O material colhido foi seco em estufa de ventilação forçada a 65°C até adquirir peso constante.

Do início ao fim da colheita de frutos, com exceção dos frutos colhidos das plantas marcadas para realização da medição da área foliar, todos os frutos colhidos (comerciáveis) das demais plantas foram pesados e considerados para a determinação dos componentes da produção ao final do experimento. Assim, para

cada tratamento testado, foram determinados os seguintes componentes da produção:

- Produção por planta - Pp (kg planta^{-1}): obtida pela média da produção por planta de cada parcela do tratamento;
- Número de frutos por planta – Nfp: obtido pela média do número de frutos por planta de cada parcela do tratamento;
- Peso médio de frutos por planta – Pmf (g): determinado a partir da produção por planta dividida pelo número de frutos por planta.

3.5 Observações agrometeorológicas

Para caracterização do ambiente no interior da estufa, foram monitorados vários parâmetros meteorológicos durante todo o ciclo da cultura mediante sensores específicos com registro automático de aquisição de dados.

Na região central da estufa, foi instalado um sistema de aquisição automático de dados, tipo *microllogger*, Datalogger modelo CR21 XL – Campbell Scientific, com multiplexador acoplado modelo AM416 Relay - Campbell Scientific (32 canais). A programação do sistema foi feita em um computador, através do software PC208W, da Campbell Scientific. O sistema foi programado para que o registro da medição de cada sensor fosse realizado a cada dez segundos sendo armazenado o valor médio a cada quinze minutos. A retirada dos dados foi realizada em intervalos de 3 a 4 dias para evitar a sobreposição de registros na memória do *microllogger*, salvando-se os dados em arquivos, que posteriormente foram convertidos em um formato compatível para utilização em planilhas eletrônicas.

3.5.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar foi medida continuamente através de um sensor de temperatura do ar modelo 107 – Campbell Scientific, que permite leituras entre -35°C e $+50^{\circ}\text{C}$. O sensor foi instalado a 1m de altura da superfície do solo, no centro do ambiente. Para protegê-lo contra a incidência direta da radiação solar e do vento, o sensor foi instalado em um abrigo modelo CM6 – Campbell Scientific, com aletas de ventilação.

Para o interior do ambiente protegido, foram determinadas, diariamente e por fase fenológica, as temperaturas do ar: média, mínima absoluta, máxima absoluta, média diurna e média noturna. Para o cálculo das temperaturas média diurna e média noturna, os períodos diurno e noturno foram determinados astronomicamente a partir dos horários de nascer e pôr-do-sol.

Para o ambiente externo, através dos dados da Estação Agroclimatológica da UFPel/Embrapa, foram determinadas, diariamente e por fase fenológica, as temperaturas do ar média, mínima absoluta e máxima absoluta.

3.5.2 Umidade do ar

A umidade relativa do ar - UR (%) foi obtida através de leituras realizadas por meio de dois sensores de medida da temperatura do ar modelo 107 – Campbell Scientific, um sensor de bulbo seco (temperatura do ar) e outro de bulbo úmido (com ventilação natural), instalados a 1m de altura do solo no centro do ambiente protegido. O sensor de bulbo úmido também foi instalado em abrigo modelo CM6 – Campbell Scientific, com aletas de ventilação. Conforme Vianello e Alves (2000), a partir da equação de Tetens (1) e da equação psicométrica (2), foi determinada a umidade relativa (3):

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\frac{7,5T_{ar}}{237,3+T_{ar}}} \quad (1)$$

$$e_a = e_{su} - AP(T_s - T_u) \quad (2)$$

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

onde:

e_s = pressão de saturação do vapor d'água (KPa);

T_{ar} = temperatura do ar (°C);

e_a = pressão parcial (atual) de vapor d'água em KPa;

T_u = temperatura de bulbo úmido (°C);

T_s = temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$);

A = coeficiente psicrométrico para psicrômetro não-ventilado ($0,0008^{\circ}\text{C}^{-1}$);

P = pressão atmosférica média local em KPa;

e_{su} = pressão de saturação de vapor d'água à temperatura de bulbo úmido, em KPa, pela equação de Tetens;

UR = umidade relativa (%);

Para o interior do ambiente protegido, foram determinadas, diariamente e por fase fenológica, a pressão de saturação do vapor d'água, pressão parcial de vapor d'água e as umidades relativas: média, máxima diária, mínima diária, média diurna e média noturna. Para o cálculo da umidade relativa média diurna e da média noturna, os períodos diurno e noturno foram determinados astronomicamente a partir dos horários de nascer e pôr-do-sol.

Para o ambiente externo, através dos dados da Estação Agroclimatológica da UFPel/Embrapa, foi determinada, diariamente e por fase fenológica, a umidade relativa média e, conforme as equações 1 e 3, através dos dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar, a pressão de saturação do vapor d'água e a pressão parcial do vapor d'água.

3.5.3 Radiação solar

Para medir os fluxos de radiação solar no interior do ambiente protegido, foram instalados 9 tubos solarímetros de construção artesanal, conforme modelo proposto por Steinmetz e Miori (1997), fornecendo valores de radiação em W m^{-2} . Os tubos solarímetros foram calibrados com o auxílio de um tubo solarímetro de fabricação industrial, marca Delta T, modelo TSL sendo o ajuste da resposta feito individualmente através de um resistor ligado em paralelo ao fio de saída do elemento sensor.

Os tubos solarímetros, sustentados por dois canos metálicos (Apêndice C), foram instalados entre as linhas de cultivo em três canteiros do bloco central do ambiente protegido, cada canteiro representando um tratamento de adubação. Foram dispostos três a três, paralelamente entre si, no sentido leste/oeste, ficando um conjunto de tubos com o elemento sensor voltado para cima (para medir a

radiação solar incidente sobre o dossel – $R_{s_{inc}}$) a 1,2m acima da superfície do canteiro; outro conjunto com o elemento sensor voltado para baixo (para medir a radiação solar refletida pelo solo e cultura – $R_{s_{rsc}}$); e o terceiro conjunto, posicionado 10cm acima da superfície do canteiro, voltado para cima (para medir a radiação solar transmitida ao solo – $R_{s_{ts}}$).

Os valores medidos de radiação solar (incidente, refletida e transmitida), em $W\ m^{-2}$, foram integralizados diariamente, obtendo-se as respectivas radiações totais diárias, que foram convertidas em $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$.

Para o ambiente externo, através dos dados da Estação Agroclimatológica da UFPel/Embrapa, foram obtidos os valores da radiação solar global total diária externa ao ambiente protegido, em $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$.

3.5.4 Radiação fotossinteticamente ativa

Para medição da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), foi instalado um quantômetro marca LI-COR, modelo LI 190SB, sobre uma base de alumínio anodizado, com 7,6cm de diâmetro, equipada com três parafusos niveladores e nível de bolha. Inicialmente, entre 0 e 21 dias após o transplante (DAT), em função do menor desenvolvimento foliar da cultura nesse período, o sensor foi posicionado no centro do ambiente, em canteiro do tratamento 1, de forma a medir a PAR incidente. Após esse período, o sensor foi posicionado abaixo do dossel vegetativo para a medida da PAR transmitida. Os dados da radiação fotossinteticamente ativa, registrados em unidade de medida instantânea ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$), foram integralizados diariamente, obtendo-se a radiação fotossinteticamente ativa total diária, que foi convertida em $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$.

3.5.5 Saldo de radiação

A medida do saldo de radiação (R_n), em $W\ m^{-2}$, foi obtida através de um saldo-radiômetro da marca REBS (Radiation Energy Balance Systems), modelo Q-7, instalado no centro do ambiente protegido em parcela do tratamento 2, a 1,2m acima da superfície do canteiro. O saldo-radiômetro apresenta um braço de suporte de 0,75m de comprimento, cuja função é afastar o elemento sensor das estruturas de

fixação, e um nível de bolha na base do elemento sensor para nivelamento do mesmo. Um sistema de junta de torção permite manter o equipamento no plano horizontal.

A integração dos dados do saldo de radiação foi realizada levando em conta o período total de 24 horas (Rn_{24h}). Os valores medidos de Rn em $W\ m^{-2}$, ao serem integralizados, foram convertidos em $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$.

3.6 Fluxos radiativos no interior do ambiente protegido

Através dos valores totais diários dos fluxos de radiação solar no interior do ambiente protegido (radiação solar incidente – Rs_{inc} e radiação solar refletida pela cultura e solo – Rs_{rsc}), foi determinado o albedo da cultura (α), para o período diário (equação 4), dos três tratamentos de adubação. A partir destes valores, determinou-se o albedo médio por fase de desenvolvimento fenológico e para todo o ciclo da cultura.

$$\alpha = \int_{h_n}^{h_p} \frac{Rs_{rsc}}{Rs_{inc}} dt \quad (4)$$

onde: h_n e h_p correspondem aos horários de nascer e pôr-do-sol, respectivamente.

Através dos valores diários do albedo (α) e dos totais diários da radiação solar incidente no interior do ambiente protegido ($Rs\ int$, em $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$), apenas para o tratamento 2, em função de o sensor de radiação líquida estar localizado sobre canteiro desse tratamento, determinou-se o balanço de ondas curtas diário (BOC, em $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$) (equação 5). Através do valor do saldo de radiação diário (Rn_{24h} , em $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$), determinou-se também o balanço de ondas longas diário (BOL_{24h} , em $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$) (equação 6). O saldo de radiação, o balanço de ondas curtas e o de onda longa, a partir de seus valores diários, também foram determinados por fase de desenvolvimento fenológico e para todo o ciclo da cultura.

$$BOC = (1-\alpha) Rs\ int \quad (5)$$

$$BOL_{24h} = Rn_{24h} - BOC \quad (6)$$

Ainda para o tratamento 2, para análise do balanço de radiação e seus elementos em dias com condições atmosféricas distintas, foram escolhidas três datas: 17 de novembro, dia nublado (radiação solar global externa ao ambiente protegido ($R_s \text{ ext}$) de $2,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, razão de insolação de 0,0, com precipitação de 38,6mm); 22 de novembro, dia claro ($R_s \text{ ext}$ de $27,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, razão de insolação de 0,90, sem precipitação) e 24 de novembro, dia parcialmente nublado ($R_s \text{ ext}$ de $17,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, razão de insolação de 0,41, sem precipitação). A classificação dos dias em nublados, parcialmente nublados e claros foi realizada através da relação entre a insolação (n) e o fotoperíodo (N), razão de insolação, conforme WMO (2006), da seguinte maneira: $0 \leq n/N < 0,3$ corresponde a dia nublado, $0,3 \leq n/N < 0,7$ corresponde a dia parcialmente nublado (nuvens esparsas) e $0,7 \leq n/N \leq 1,0$ corresponde a dia claro.

3.7 Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa em fitomassa

A eficiência de conversão (EC , em g MJ^{-1}) da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em fitomassa foi determinada com base na PAR incidente para os três tratamentos de adubação. Foi utilizada a seguinte fórmula para a sua determinação:

$$EC = \frac{MS_{\text{total}}}{PAR_{\text{inc}}} \quad (7)$$

onde MS_{total} é a matéria seca total acumulada da parte aérea (g m^{-2}), desconsiderando-se o valor de matéria seca das mudas, e PAR_{inc} é a integral da PAR incidente acumulada sobre a cultura no período de cultivo (MJ m^{-2}), que foi determinada através dos totais diários da PAR incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), estimados pelos totais diários da radiação solar interna ($R_s \text{ int}$) através da equação $y = 0,4586x + 0,171$ ($r^2 = 0,9972$), obtida de regressão linear entre os dados medidos da PAR incidente e da radiação solar interna no período entre 0 e 21DAT.

Para o tratamento 1, em função de o sensor de PAR estar localizado sobre canteiro desse tratamento, a partir de 21DAT, através dos totais diários medidos da PAR transmitida ao solo (PAR_{ts}), em $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$, obteve-se os totais diários da PAR interceptada pela cultura (PAR_{int}), em $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$, e a eficiência de interceptação diária (ϵ_i) através das equações:

$$PAR_{int} = PAR\ incidente - PAR_{ts} \quad (8)$$

$$\epsilon_i = \frac{PAR_{int}}{PAR\ incidente} \quad (9)$$

Para o período entre 0 e 21DAT, a PAR interceptada diária foi determinada através da equação 9, utilizando-se a eficiência de interceptação, estimada em função do dia após o transplante (DAT), por equação polinomial de ordem 2 ($\epsilon_i = -0,000471\ DAT^2 + 0,038452\ DAT$, $r^2 = 0,824$), obtida através dos valores medidos da PAR transmitida. Pela relação da equação 7, substituindo-se PAR_{inc} pela integral da PAR interceptada pela cultura no período de cultivo, calculou-se a eficiência de conversão da PAR interceptada em fitomassa (EC^*), em $g\ MJ^{-1}$, relativa ao tratamento 1.

3.8 Análise estatística

Foi empregado o delineamento experimental inteiramente ao acaso, constituído de três tratamentos com cinco repetições. Os dados obtidos (componentes da produção, albedo, etc.) que sofreram tratamento estatístico, previamente foram submetidos à análise da variância ao nível de significância de 5%. Para aquelas variáveis em que as variâncias foram caracterizadas como heterogêneas, posteriormente, foram submetidas à comparação de médias pelo teste de Duncan ao nível de probabilidade de 5% (BANZATTO; KRONKA, 1995). Também foi utilizado o teste t para análise de resultado de correlação linear entre variáveis. Para a caracterização de elementos físicos do ambiente, a partir dos dados coletados, foi realizada análise de regressão com a utilização dos gráficos de dispersão dos dados e planilhas eletrônicas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fases fenológicas

O ciclo da cultura, desde o transplante até a colheita final, foi de 61 dias. As mudas foram transplantadas com 18 dias, o início do florescimento ocorreu no 11º dia após o transplante e a colheita apresentou duração de 30 dias, sendo a primeira colheita realizada no 31º dia após o transplante. As fases fenológicas ficaram definidas de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Fases fenológicas da cultura da abóbora italiana cultivada em ambiente protegido, em Pelotas – RS, 2006.

Fase fenológica*	Período	Duração (dias)
I	18/09 a 06/10	18
II	06/10 a 17/10	11
III	17/10 a 06/11	20
IV	06/11 a 06/12	30

*I, da sementeira até o transplante; II, do transplante até o início do florescimento; III, do início do florescimento até o início da frutificação; IV, do início da frutificação até o fim do ciclo de cultivo.

As medidas dos elementos físicos do ambiente protegido foram realizadas apenas nas fases II, III e IV.

4.2 Microclima dentro do ambiente protegido

4.2.1 Radiação solar

Na Figura 1, estão representados os valores diários da radiação solar incidente no interior (Rs int) e no exterior (Rs ext) do ambiente protegido, ocorridos durante o ciclo de cultivo da cultura da abóbora italiana, considerado do transplante

até a colheita final. Está representado também o limite trófico de $8,4\text{MJ m}^{-2}\text{ dia}^{-1}$, utilizado como referência para hortaliças de verão (FAO, 1990).

O valor médio da radiação solar interna durante o período de cultivo foi de $14,6\text{MJ m}^{-2}\text{ dia}^{-1}$, variando durante o ciclo entre o valor mínimo de $1,6\text{MJ m}^{-2}\text{ dia}^{-1}$ e máximo de $21,4\text{MJ m}^{-2}\text{ dia}^{-1}$. Em média, por fase fenológica, a radiação solar interna foi de 12,2, 12,9 e $16,7\text{MJ m}^{-2}\text{ dia}^{-1}$, para as fases II, III e IV, respectivamente. A intensidade da radiação solar interna aumentou no decorrer do ciclo da cultura, o que é característico desta época do ano.

O valor médio da radiação solar interna durante o período de cultivo foi 73,8% superior ao valor do limite trófico. Durante o período analisado, a radiação solar interna foi superior ao limite trófico em 85% dos dias, ou seja, 53 dias. Analisando-se por fase fenológica, na fase II, a radiação solar interna foi superior ao limite trófico em 75% dos dias da fase; na fase III, foi superior em 80% dos dias e, na fase IV, em 93,3% dos dias. Segundo Andriolo (2002), em função da maior quantidade de matéria seca acumulada e a conseqüente maior taxa respiratória, as plantas que estão em fase de produção exigem níveis de radiação mais elevados do que as plantas no início de crescimento vegetativo. Neste sentido, observa-se que a fase IV (frutificação e colheita) foi a mais favorecida pelos níveis de radiação, pois apresentou níveis de radiação limitantes em apenas 2 dias (6,7% dos dias da fase).

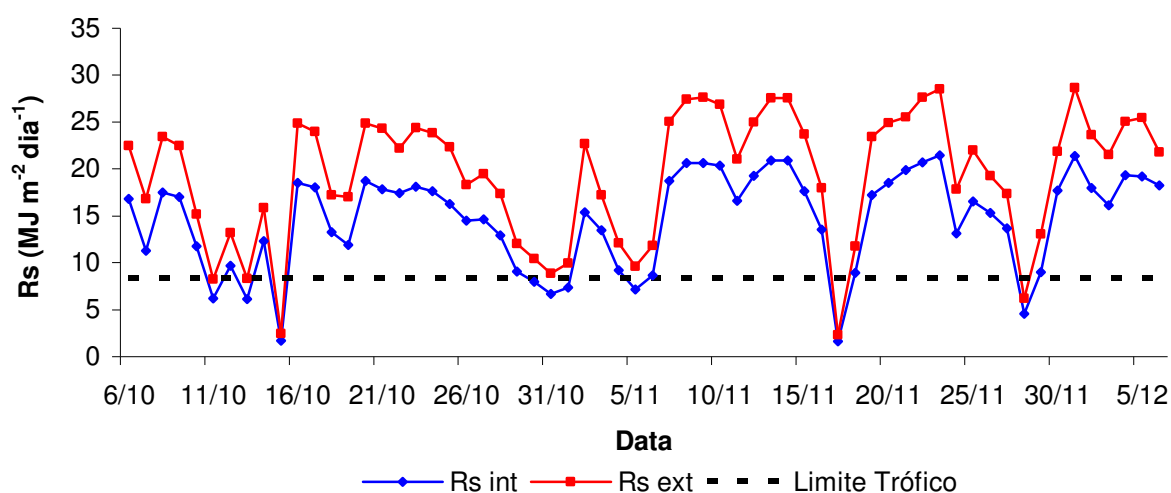


Figura 1 - Valores diários da radiação solar incidente no interior (Rs int) e no exterior (Rs ext) de ambiente protegido com a cultura da abóbora italiana, em Pelotas-RS, 2006.

A radiação solar interna foi sempre menor que a radiação solar global externa, demonstrando a atenuação na intensidade radiação solar proporcionada pela cobertura plástica (PEBD). O valor médio da radiação solar global externa, durante o período de cultivo, foi de $19,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, variando durante o ciclo entre o valor mínimo de $2,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e máximo de $28,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Em média, por fase fenológica, a radiação solar global externa foi de 16,4, 17,3 e $21,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, para as fases II, III e IV, respectivamente.

Com relação ao limite trófico durante todo o período analisado, a radiação solar global externa foi superior a este em 92% dos dias, ou seja, com relação à radiação do ambiente interno, foi superior em mais 4 dias. Analisando-se por fase fenológica, na fase II, a radiação solar global externa foi superior ao limite trófico em 75% dos dias da fase; na fase III, foi superior em 100% dos dias e, na fase IV, em 93,3% dos dias. Em geral, pode-se dizer que as ocorrências de níveis de radiação solar limitantes foram similares no ambiente protegido e no ambiente externo, pois, tanto na fase II quanto na fase IV, os percentuais de dias com radiação solar acima do limites trófico foram idênticos, sendo que a diferença de 4 dias para o ciclo todo ocorrera na fase III.

Na Figura 2, estão representados os valores diários da transmitância da cobertura plástica do ambiente protegido à radiação solar global externa. A transmitância média durante o período de cultivo foi de 75%, variando durante o ciclo entre o valor mínimo de 67% e máximo de 84%. Beckmann (2004), em cultivo realizado na mesma estufa utilizada neste experimento, porém com o cultivo de tomate no período de fevereiro a junho de 2003, obteve resultados similares, ou seja, transmitância média durante o período de cultivo de 76%, variando entre 63 e 93%. Farias et al. (1993a), no campus da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), em 11 dias no período de primavera, em estufa tipo “capela” coberta com PEBD de 0,1mm de espessura, obtiveram uma transmitância média um pouco mais elevada em relação à obtida neste trabalho, no valor de 83%, variando entre o mínimo de 65% e o máximo de 90%. Contudo, é importante ressaltar que, além das diferenças entre os modelos das estufas, a espessura do plástico utilizada por Farias et al. (1993a) é menor e o horário das medições foi mais restrito (entre 11h e 13h). De acordo com o observado pelos autores, a transmissividade da cobertura varia em função do ângulo de incidência da radiação solar (zenital), sendo maior nas horas

mais centrais do dia e menor nos horários mais próximos do nascer e pôr-do-sol. Camacho et al. (1995), também no Campus da UFPel, em estufa tipo “túnel alto” coberta com polietileno de baixa densidade de 0,1mm de espessura, em experimento com período de duração superior a um ano, efetuando medidas quinzenais da radiação solar entre as 8h e as 18h, obtiveram uma transmissividade média à radiação solar global de 78%, variando de 65% a 89%. Esse resultado foi similar ao obtido neste trabalho em que pese as diferenças entre os experimentos (modelo de estufa, espessura do material de cobertura, quantidade de medidas, etc.). Segundo os autores, a transmissividade do PEBD à radiação solar global na primavera é maior que no outono e, durante o dia, em conformidade com as observações de Farias et al. (1993a), a maior transmissividade ocorre nas horas próximas ao meio-dia.

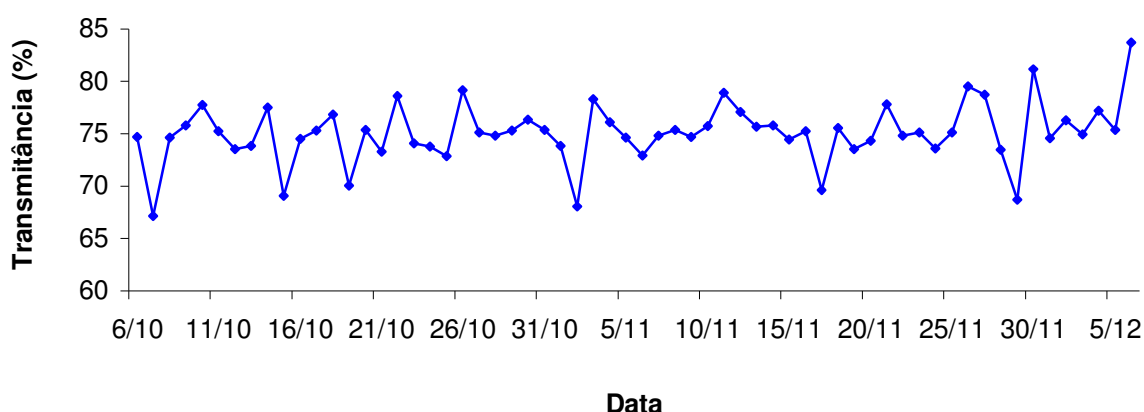


Figura 2 - Transmissão da cobertura plástica (PEBD) de estufa plástica tipo “teto em arco” à radiação solar, em Pelotas-RS, 2006.

4.2.1.1 Albedo da cultura

Na Figura 3, estão representados os valores médios diários do albedo e da área foliar (AF) da abóbora italiana durante o seu ciclo de cultivo para os três tratamentos utilizados. A Tabela 4 apresenta o albedo médio por fase fenológica e ao longo do ciclo da cultura. O albedo médio, ao longo do ciclo da cultura (ciclo total), foi de 0,18, 0,22 e 0,20, para os tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente. Esses valores diferiram entre si estatisticamente pelo teste F e de Duncan conforme a Tabela 4. Para todo o ciclo, o maior albedo médio foi o do tratamento 2 e o menor, o

do tratamento 1. Durante o ciclo, o albedo diário variou, em relação ao albedo médio, para o tratamento 1, entre o valor mínimo de 0,13 e máximo de 0,22; para o tratamento 2, entre o mínimo de 0,14 e máximo de 0,27 e, para o tratamento 3, entre o mínimo de 0,15 e máximo de 0,25. Observa-se, que no início do ciclo de vida das plantas, os valores de albedo foram relativamente baixos porque predominou sobre a superfície a cor preta do *mulching*. Com o desenvolvimento da cultura e o conseqüente aumento da área foliar, os valores de albedo aumentaram como conseqüência da coloração foliar (verde), que é mais reflectiva. Ao final do ciclo, observou-se um decréscimo nos valores do albedo e da área foliar dos três tratamentos, atribuído à retirada de folhas senescentes e/ou atacadas por fungo. Essa correlação entre o albedo e a área foliar de cada tratamento foi significativa ao nível de probabilidade de 5% pelo Teste t, obtendo-se coeficientes de correlação linear (r) de: 0,81, 0,86 e 0,90, para os tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente. O maior desenvolvimento foliar do tratamento 2, seguido dos tratamentos 3 e 1 (Figura 3), refletiu-se também na produção total de frutos comerciáveis, o que será discutido no item 4.3.

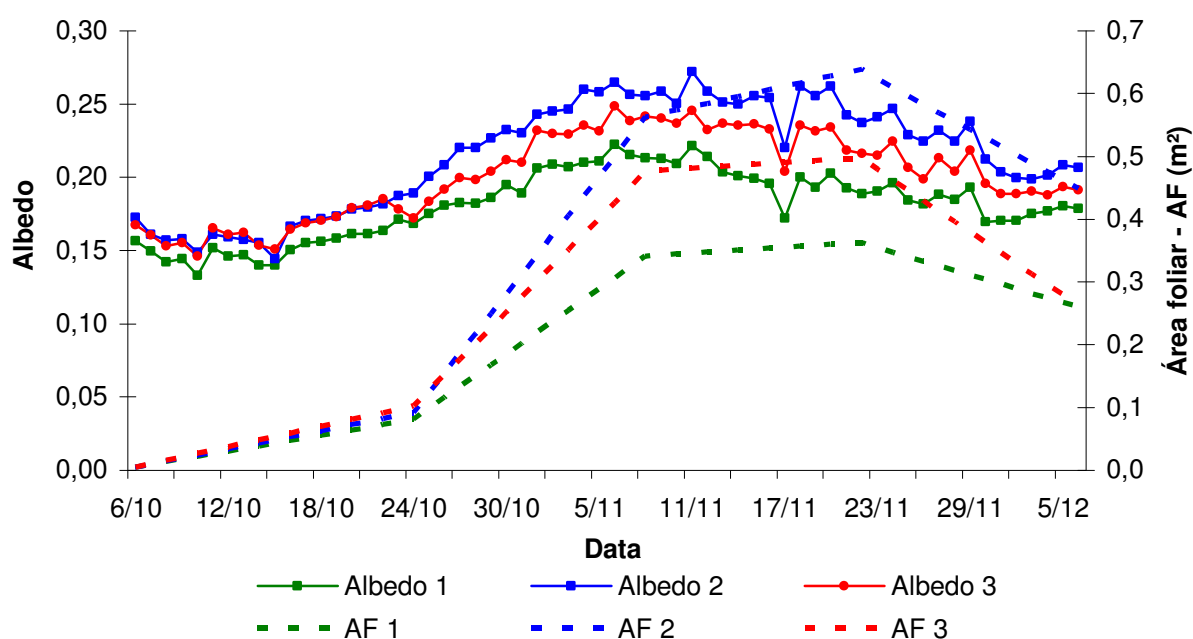


Figura 3 – Albedo médio diário e evolução da área foliar (AF) da cultura da abóbora italiana cultivada com uma dose de vermicomposto bovino sólido (1), duas doses (2) e três doses (3), em Pelotas-RS, 2006.

Tabela 4 – Albedo médio por fase fenológica da cultura da abóbora italiana cultivada em ambiente protegido com uma dose de vermicomposto bovino sólido (1), duas doses (2) e três doses (3), em Pelotas-RS, 2006.

Fase Fenológica*	Data	Albedo 1	Albedo 2	Albedo 3	Teste F	C.V.(%)**
II	06/10 a 17/10	0,15b [†]	0,16a	0,16a	12,05	4,8
III	17/10 a 06/11	0,18b	0,22a	0,20a	7,17	12,9
IV	06/11 a 06/12	0,19c	0,24a	0,22b	41,24	8,8
Ciclo total	06/10 a 06/12	0,18c	0,22a	0,20b	19,31	15,4

[†]Médias seguidas por letras distintas, na mesma linha, diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

*II, do transplante até o início do florescimento; III, do início do florescimento até o início da frutificação; IV, do início da frutificação até o fim do ciclo de cultivo.

**C.V (%): coeficiente de variação.

Em função das diferenças observadas no albedo e na área foliar, entre os tratamentos durante o ciclo, avaliou-se também o comportamento do albedo por fase fenológica. Os albedos dos tratamentos 2 e 3 foram equivalentes nas fases II e III, ambos diferindo do albedo do tratamento 1. Na fase IV, os valores de albedo diferiram entre os tratamentos de adubação, tendo o tratamento 2 obtido o maior valor e o tratamento 1, o menor valor. Esse comportamento, como já comentado, está associado com a área foliar de cada tratamento e, como será visto no item 4.3, refletiu-se na produção. Portanto, em geral, o albedo variou com a dose de adubação, não sendo recomendável estabelecer um valor médio para os três tratamentos, apenas intervalos de variação. Cabe observar que o tratamento 3 diferiu do tratamento 2 apenas na fase IV, ou seja, até essa fase, não apresentou diferença nos valores de albedo em relação ao tratamento 2, o de maior área foliar. Certamente, a maior exigência por fotoassimilados pelos frutos no período de frutificação influenciou, em relação ao tratamento 2, mais expressivamente o desenvolvimento foliar do tratamento 3 e, conseqüentemente, o seu albedo.

No mesmo ambiente protegido utilizado neste experimento, Ribeiro et al. (2006), em experimento com abóbora italiana no ciclo de verão-outono (16/03/06 a 10/05/06), considerando uma dose de vermicomposto bovino sólido como adubação orgânica, obteve como albedo médio para todo o ciclo da cultura o valor de 0,23. Entre o transplante e o início do florescimento, foi de 0,17; entre o início do florescimento e o início da frutificação, foi de 0,21 e, por fim, do início da frutificação até o fim do ciclo (55 DAT), o valor foi de 0,29. Na comparação direta com este experimento, observa-se que os albedos obtidos neste trabalho foram menores tanto no ciclo total quanto nas fases fenológicas consideradas. Essas diferenças

ocorreram, em grande parte, porque as épocas dos experimentos foram diferentes, pois o cultivo no período de primavera, dentre outros fatores, permite que a cultura, durante todo seu ciclo, receba a radiação solar com um ângulo zenital menor, comparativamente, ao referido período de cultivo de verão-outono, fazendo com que uma maior parte da energia incidente penetre e fique retida na comunidade vegetal.

4.2.1.2 Fluxos radiativos no interior do ambiente protegido

Os fluxos radiativos (balanço de ondas curtas, balanço de ondas longas etc.), no interior do ambiente protegido com a cultura da abóbora italiana, foram analisados apenas sobre o tratamento com duas doses de vermicomposto bovino sólido (Tratamento 2) em função de o sensor de radiação líquida estar localizado sobre canteiro desse tratamento. As diferenças encontradas nos valores de albedo da cultura com a dose de adubação aplicada indicam, também, que a análise dos fluxos radiativos seja específica para esse tratamento.

A estreita relação entre a radiação solar interna e os fluxos de energia radiante do balanço de ondas curtas e do saldo de radiação (Figura 4), ficou evidenciada pelos ótimos coeficientes de determinação (r^2) obtidos da relação entre essas variáveis e a radiação solar interna (Figura 5). Padrão semelhante foi observado por Cunha et al. (1993) e Heckler et al. (2007).

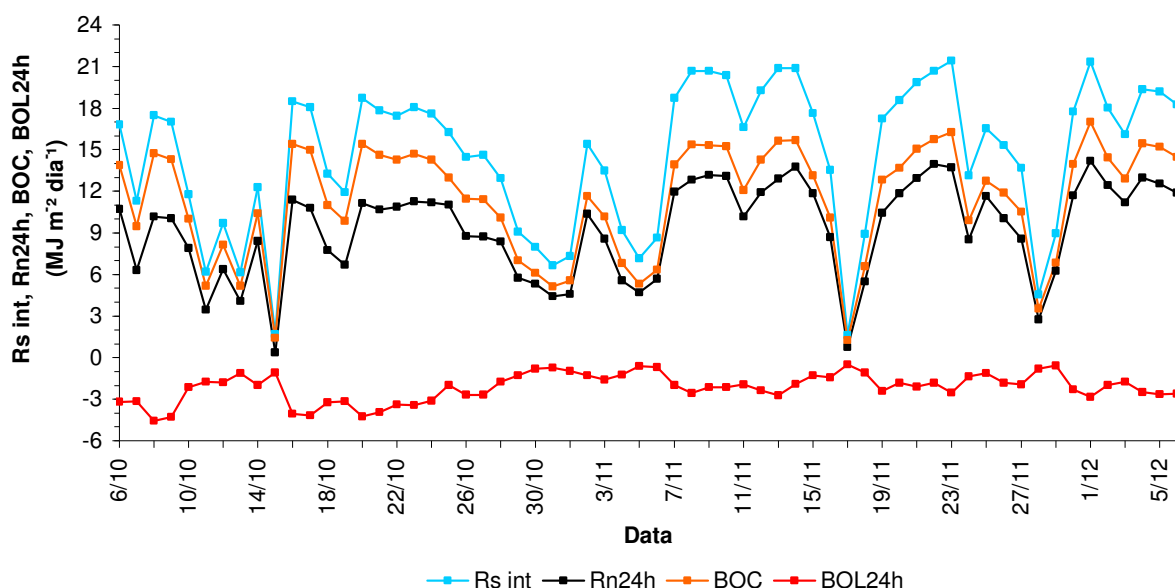


Figura 4 – Valores diários da radiação solar interna ($R_s \text{ int}$), saldo de radiação (R_{n24h}), balanço de ondas curtas (BOC) e balanço de ondas longas (BOL_{24h}), sobre a cultura da abóbora italiana cultivada sob duas doses de vermicomposto bovino sólido (Tratamento 2) no interior de ambiente protegido, em Pelotas-RS, 2006.

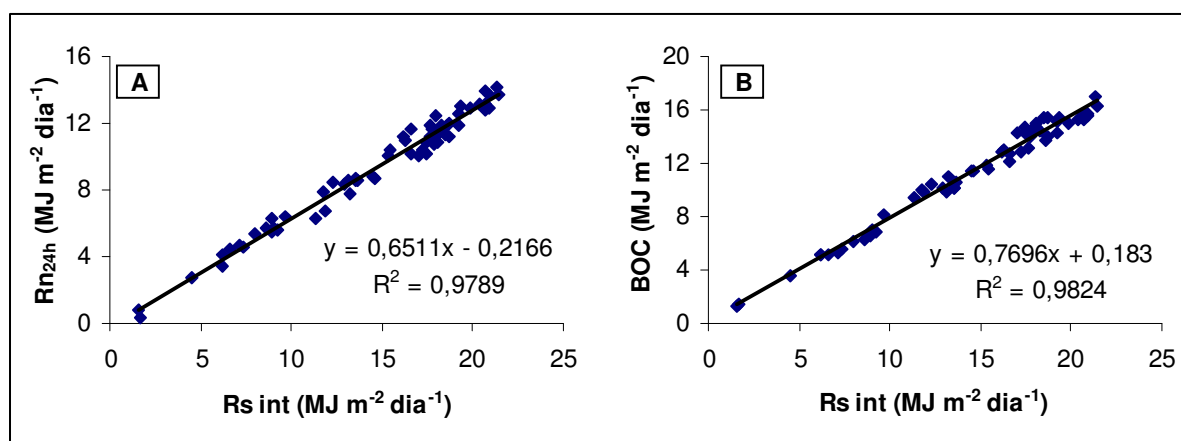


Figura 5 – Relação entre o saldo de radiação (R_{n24h}) e a radiação solar interna ($R_s \text{ int}$) (A) e entre o balanço de ondas curtas (BOC) e a radiação solar interna (B), sobre a cultura da abóbora italiana cultivada sob duas doses de vermicomposto bovino sólido (Tratamento 2) no interior de ambiente protegido, em Pelotas-RS, 2006.

O valor médio do saldo de radiação diário no período de cultivo foi de $9,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, variando entre o valor mínimo de $0,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e máximo de $14,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. No período de cultivo, o saldo de radiação diário representou, em média,

63,6% da radiação solar interna, variando durante o ciclo entre 21,0% e 70,5%, enquanto que, em relação ao balanço de ondas curtas, representou em média 81,3%, oscilando entre 24,5% e 91,7%. O balanço de ondas curtas correspondeu, em média, a 78,3% da radiação solar interna, variando entre 72,8% e 85,6%. Pela Figura 4, observa-se que o balanço de ondas longas diário contribuiu com valores negativos pelo fato de a radiação emitida pela superfície ser maior do que a radiação emitida pela atmosfera (FRISINA; ESCOBEDO, 1999). Em média, no período de cultivo, as perdas de radiação através do balanço de ondas longas diário foram de $2,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, variando entre 0,5 e $4,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Em relação à radiação solar interna, as perdas de radiação através de balanço de ondas longas diário representaram, em módulo, durante o período de cultivo, 14,7% da $R_s \text{ int}$, variando durante o ciclo entre 6,4% e 64,6%. Em relação ao balanço de ondas curtas, as perdas através de balanço de ondas longas diário representaram durante o período de cultivo, em módulo, 18,7% do BOC, variando durante o ciclo entre 8,3% e 75,5%.

Analisando-se por fase fenológica, tem-se que a relação $R_{n24h}/R_s \text{ int}$ aumentou da fase II para fase IV, sendo de 61,2%, 62,5% e 64,9%, para as fases II, III e IV, respectivamente. Por outro lado, a relação $\text{BOC}/R_s \text{ int}$ diminuiu, sendo de 83,7%, 79,1% e 76,3%, para as fases II, III e IV, respectivamente. Esse comportamento do balanço de ondas curtas pode ser explicado pelo comportamento do albedo da cultura (Figura 3), ou seja, no início do ciclo quando a cultura estava menos desenvolvida e os valores de albedo são menores, ocorre uma menor reflexão da radiação solar interna, fazendo com que a relação $\text{BOC}/R_s \text{ int}$ seja maior. À medida que a cultura se desenvolve, o aumento da área foliar faz com que aumente o albedo, pois, como comentado no item 4.2.1.1, a superfície foliar é mais reflectiva que a superfície do *mulching*; assim, com o aumento do albedo, aumenta a radiação refletida, diminuindo a relação $\text{BOC}/R_s \text{ int}$. Da mesma forma que $\text{BOC}/R_s \text{ int}$, a relação $\text{BOL}_{24h}/R_s \text{ int}$ também diminuiu da fase II para a fase IV, sendo de 22,6%, 16,6% e 11,4% para as fases II, III e IV, respectivamente. Pela Lei de Stefan-Boltzmann, a emitância de um corpo é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta (VIANELLO; ALVES, 2000). Portanto, quanto maior a energia disponível, maior será sua temperatura e, conseqüentemente, a emitância tornar-se-á maior. Comparando-se as fases inicial e final do ciclo, como a relação $\text{BOC}/R_s \text{ int}$ foi maior na fase inicial, ou seja, em valores relativos à $R_s \text{ int}$, obteve-se mais

energia disponível sobre a cultura nesta fase, pode-se dizer, também em termos relativos, que houve uma maior absorção de energia pela superfície na fase inicial e, por essa razão, uma maior emitância tornando a relação BOL_{24h}/R_s int maior.

A Figura 6 apresenta as curvas dos fluxos radiativos (BOC, BOL, saldo de radiação e albedo) sobre a cultura da abóbora italiana em dias com diferentes condições meteorológicas. As condições meteorológicas características de cada dia alteraram o comportamento do balanço de radiação e de seus componentes no interior do ambiente protegido.

Comparando-se o comportamento do balanço de ondas curtas nos três dias em análise, observa-se que, nos dias de céu claro e parcialmente nublado, os valores obtidos são bastante superiores aos do dia nublado. No dia de céu claro, o valor total diário do balanço de ondas curtas foi de $15,77 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, enquanto nos dias de céu parcialmente nublado e nublado, foi de $9,89 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e $1,25 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. No dia parcialmente nublado, em decorrência da maior variação nas condições de nebulosidade, ocorreu uma maior alternância nos valores do balanço de ondas curtas. Em relação ao dia de céu claro, no período compreendido entre o nascer do Sol e as 10h, os valores do balanço de ondas curtas nos dois dias foram praticamente idênticos; a partir das 10h, ocorreu uma maior variação no balanço de ondas curtas do dia parcialmente nublado, sendo as diferenças acentuadas, ou seja, o balanço de ondas curtas no dia de céu claro manteve-se, até o final do dia, bastante superior.

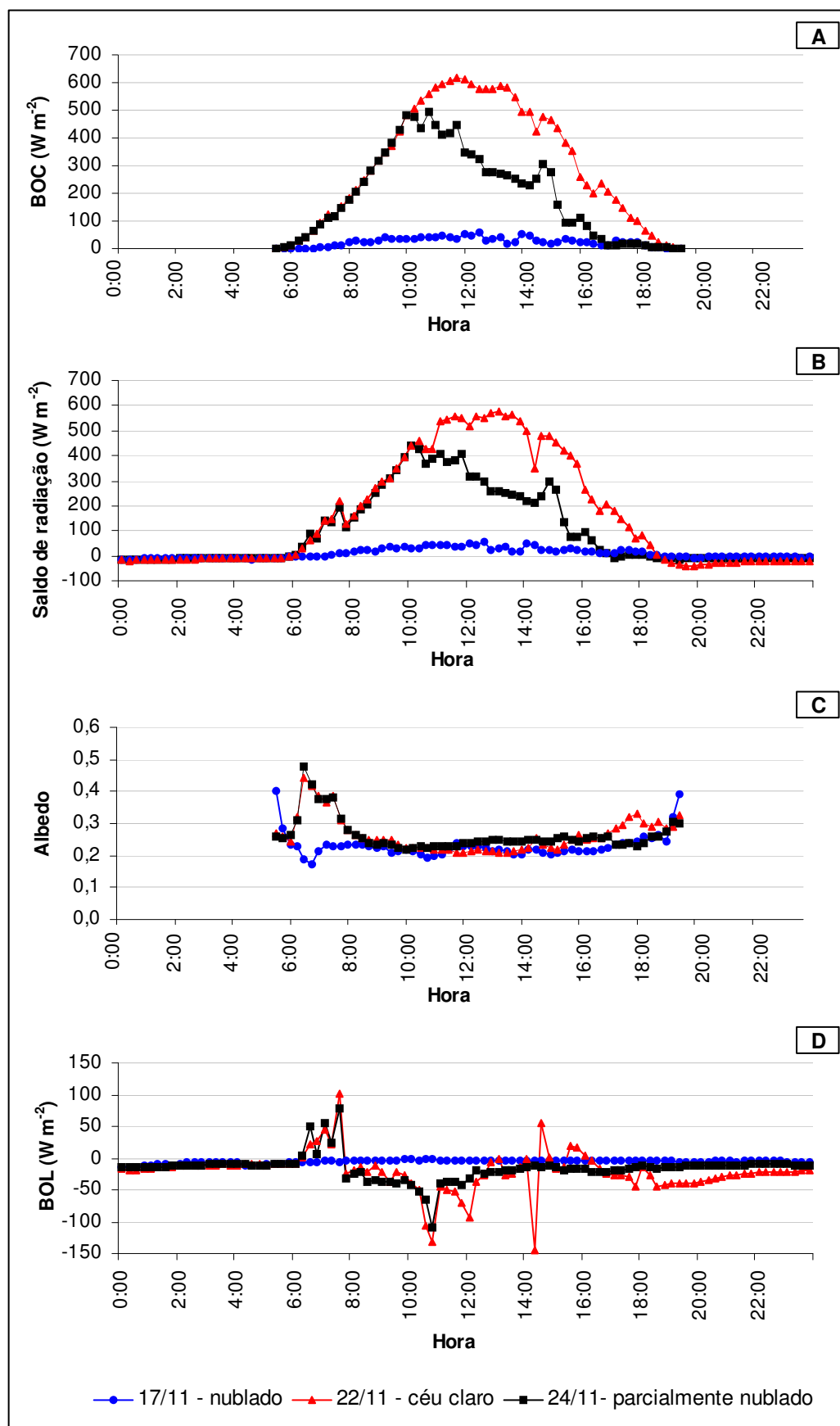


Figura 6 – Balanço de ondas curtas – BOC (A), saldo de radiação (B), albedo (C) e balanço de ondas longas - BOL (D), em dias com condições meteorológicas características do mês de novembro de 2006, sobre a cultura da abóbora italiana cultivada sob duas doses de vermicomposto bovino sólido (Tratamento 2) no interior de ambiente protegido, em Pelotas-RS.

O comportamento do balanço de ondas curtas dos três dias refletiu-se diretamente sobre o comportamento do saldo de radiação (Figura 6B). Os coeficientes de correlação linear (r) entre o balanço de ondas curtas e o saldo de radiação, para os dias de céu nublado, parcialmente nublado e céu claro, foram elevados, sendo de 0,993, 0,993 e 0,991, respectivamente. O saldo de radiação médio foi de $161,5\text{W m}^{-2}$, $98,7\text{W m}^{-2}$ e $8,8\text{W m}^{-2}$, para os dias de céu claro, parcialmente nublado e nublado, respectivamente. Para estes três dias, os totais diários dessa energia foram de $14,0\text{MJ m}^{-2}\text{ dia}^{-1}$, $8,5\text{MJ m}^{-2}\text{ dia}^{-1}$ e $0,8\text{MJ m}^{-2}\text{ dia}^{-1}$, respectivamente. No dia de céu claro, o valor máximo do saldo de radiação ocorreu às 13h, sendo de 576W m^{-2} ; no dia parcialmente nublado, ocorreu às 10h, sendo de 440W m^{-2} e, no dia nublado, ocorreu às 12h30min, sendo de 54W m^{-2} .

O albedo (Figura 6C) também sofreu alterações em função das condições meteorológicas observadas. O albedo médio diário foi de 0,26, 0,26 e 0,23 para os dias de céu claro, parcialmente nublado e nublado, respectivamente. O albedo médio do tratamento 2 na fase de desenvolvimento fenológico IV, da qual os dias escolhidos fazem parte, foi de 0,24 (Tabela 4). Os maiores valores de albedo, nos três dias analisados, foram observados no início da manhã e o no final da tarde, o que está relacionado com o fato de os raios solares incidirem, nesses períodos, com um ângulo de elevação bastante pequeno sobre a cultura, aumentando a fração da radiação solar que é refletida. Resultados similares foram obtidos por Souza, Escobedo e Tornero (1999), Galvani et al. (2000) e Böhmer et al. (2007) com as culturas do feijão-vagem, pepino e morango, respectivamente. A menor variação nos valores do albedo ocorreu no dia de céu nublado. Segundo Pinker et al. (1980 apud MOURA et al., 1999), a variação do albedo é primariamente um resultado da natureza da reflexão da componente direta do espectro de radiação solar. Como no dia nublado a radiação solar global é mais rica em radiação solar difusa, provavelmente seja esta a causa para que ocorra uma menor variação na reflexão em relação a um dia de céu claro. Nos dias de céu claro e céu parcialmente nublado, o comportamento dos valores do albedo foi similar. Comparando-se os valores médios horários do albedo desses dois dias, entre o início da manhã e aproximadamente o horário das 10h, tais valores foram praticamente idênticos, o que é associado às condições atmosféricas semelhantes ocorridas nesse período, em ambos os dias, e que está evidenciado na Figura 6a pela similaridade de valores do balanço de ondas curtas até o referido horário. A partir das 10h, observa-se que

as condições de nebulosidade do dia parcialmente nublado afetaram a intensidade da radiação solar e conseqüentemente o balanço de ondas curtas, tornando-o quantitativamente inferior ao do dia de céu claro. Nesse período, os valores do albedo dos dois dias, tanto pontuais quanto na média horária, apresentaram maiores diferenças, o que certamente se deve ao fato de a nebulosidade afetar não somente a intensidade da radiação solar global incidente, mas também a sua composição, alterando a relação entre a radiação solar direta e a difusa.

Quanto ao balanço de ondas longas (Figura 6D), é possível constatar que, no dia de maior nebulosidade, as perdas de onda longa para a atmosfera foram inferiores às perdas ocorridas nos dias de menor nebulosidade. Para os dias de céu claro, parcialmente nublado e nublado, as perdas de radiação através do balanço de ondas longas médio foram de $-21,0 \text{ W m}^{-2}$, $-15,7 \text{ W m}^{-2}$ e $-5,7 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente. A maior variação nos valores do balanço de ondas longas ocorreu no dia de céu claro. Este dia e o dia parcialmente nublado apresentaram um comportamento do balanço de ondas longas similar entre o nascer do Sol e cerca de 10h da manhã. A partir desse horário, as variações nos valores do balanço de ondas longas do dia de céu claro foram mais intensas. Tanto no dia de céu claro quanto no dia parcialmente nublado, no período compreendido entre uma hora depois do nascer do Sol e o horário de 7h30min, os valores do balanço de ondas longas foram positivos, ou seja, a contra-radiação atmosférica foi superior à perda de energia pela cultura e solo. Nesse período, em ambos os dias, a estufa encontrava-se totalmente fechada, os valores de umidade relativa estavam elevados (média de 88%) e os de temperatura do ar apresentaram um aumento significativo considerando o curto intervalo de tempo, aumento de $3,9^{\circ}\text{C}$ no dia de céu parcialmente nublado e $6,8^{\circ}\text{C}$ no dia de céu claro. De acordo com Buriol et al. (2000), a manutenção da elevada umidade relativa dentro do ambiente protegido nesse período do dia, mesmo com a elevação da temperatura do ar, explica-se pela evaporação da camada de água condensada na superfície interna do filme de polietileno aquecido pela radiação solar. Somado a isso, Pezzopane et al. (1995) observaram que a não-renovação do ar no interior de estufa no início da manhã e a incidência dos primeiros raios solares, com conseqüente aumento da evapotranspiração, determinaram acentuada elevação na pressão atual de vapor. A ocorrência de condensação de vapor d'água na superfície interna do polietileno aumenta consideravelmente a interceptação da radiação de ondas longas, obtendo-se uma maior conservação do calor no interior do ambiente

protegido. Assim, devido à redução do processo convectivo em função de o ambiente protegido estar fechado e ao maior armazenamento de calor sensível pelo ar atmosférico no seu interior em função da retenção de radiação de onda longa, atribui-se o aumento significativo da contra-radiação atmosférica, tornando-a superior à perda de energia da superfície nesse período da manhã.

De acordo com Souza e Escobedo (1997), em dias claros, é marcante a presença de picos de mínimos relativos à radiação solar global e saldo de radiação bem como oscilações de máximos e mínimos em relação ao balanço de ondas longas, devido ao sombreamento dos sensores dos radiômetros causado pelas estruturas da casa de vegetação. Cunha et al. (1993) colocam que o grau de incerteza na determinação do balanço de ondas longas é alto, uma vez que corresponde a um valor pequeno, resultante de dois grandes fluxos atmosféricos, obtido por diferença na equação do balanço de radiação. Portanto, de acordo com a análise dos dados, a ocorrência de valores positivos do balanço de ondas longas no período da tarde do dia de céu claro, diferentemente do ocorrido no período inicial da manhã, deve ser mais uma decorrência do sombreamento dos sensores e do método de determinação do que propriamente uma realidade física.

4.2.2 Temperatura do ar

Na Figura 7, estão representados os valores médios diários da temperatura do ar no interior e no exterior do ambiente protegido, ocorridos durante o ciclo da cultura da abóbora italiana. Segundo Puiatti e Silva (2005), Lorenz e Maynard (1988 apud ARAÚJO, 2002) e Molinar et al. (2007), a temperatura do ar ótima para o crescimento e produção da cultura está entre 18°C e 24°C, com uma tolerância de temperaturas entre o mínimo de 15°C e máximo de 32°C, limites inferior e superior, respectivamente.

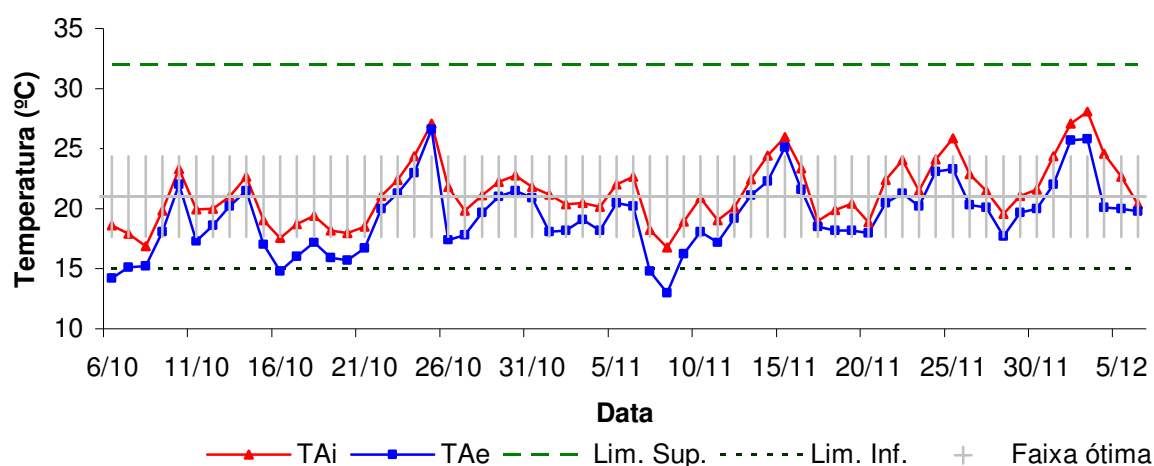


Figura 7 - Valores médios diários da temperatura do ar, no interior (TAi) e exterior (TAe) do ambiente protegido, limites de temperatura do ar para a cultura, superior (Lim. Sup.), inferior (Lim. Inf.) e faixa ótima, durante o período de desenvolvimento da cultura da abóbora italiana, em Pelotas-RS, 2006.

Observa-se que a temperatura média diária do ar no interior do ambiente protegido apresenta uma estreita relação (similaridade de variação) com a temperatura média diária do ar do ambiente externo. As diferenças variaram entre 0,4°C e 4,5°C, sempre superiores no ambiente protegido. A temperatura média diária do ar no período de cultivo foi de 21,3°C no ambiente interno, e de 19,4°C no ambiente externo; no ambiente interno, variou entre 16,7°C e 28,1°C, enquanto que, no ambiente externo, variou entre 13,0°C e 26,6°C. O ambiente protegido proporcionou em relação ao ambiente externo um ganho térmico de 1,9°C na média das temperaturas diárias.

A temperatura média diária do ar no ambiente protegido esteve sempre dentro dos limites superior e inferior para a cultura, enquanto que, no ambiente externo, em 6,5% dos dias, ficou abaixo do limite inferior, o que significa, na comparação com as condições ambientais externas, um pequeno benefício proporcionado pelo ambiente protegido para a cultura. Com relação à faixa ótima de temperaturas (18°C a 24°C), os valores da temperatura média diária do ar do ambiente interno ficaram dentro desta faixa em 82,0% dos dias, enquanto que os do ambiente externo ficaram em 65,6% dos dias, o que demonstra que o ambiente protegido também favoreceu a cultura com relação à faixa ótima de temperaturas.

Os valores da temperatura do ar máxima absoluta diária no interior do ambiente protegido foram sempre superiores aos do ambiente externo (Figura 8). As

diferenças variaram entre 1,0°C e 9,9°C. No período de cultivo, o valor médio foi de 29,5°C no ambiente interno, e de 24,7°C no ambiente externo, com uma diferença entre as médias de 4,8°C. Conforme verificado por Farias et al. (1993b), a temperatura máxima, além de estar intimamente relacionada com a intensidade da radiação solar, é alterada pela estufa plástica devido ao menor volume de ar a ser aquecido e à redução da velocidade do vento, que atua no resfriamento do ambiente, ocasionada pela estrutura física da estufa. Com relação ao limite superior da cultura, a temperatura do ar máxima absoluta diária no ambiente protegido foi superior ao limite em 29,5% dos dias, enquanto que, no ambiente externo, em apenas 6,6% dos dias. Como os valores da temperatura máxima são absolutos, ocorreram em curtos intervalos de tempo durante as horas mais quentes do dia.

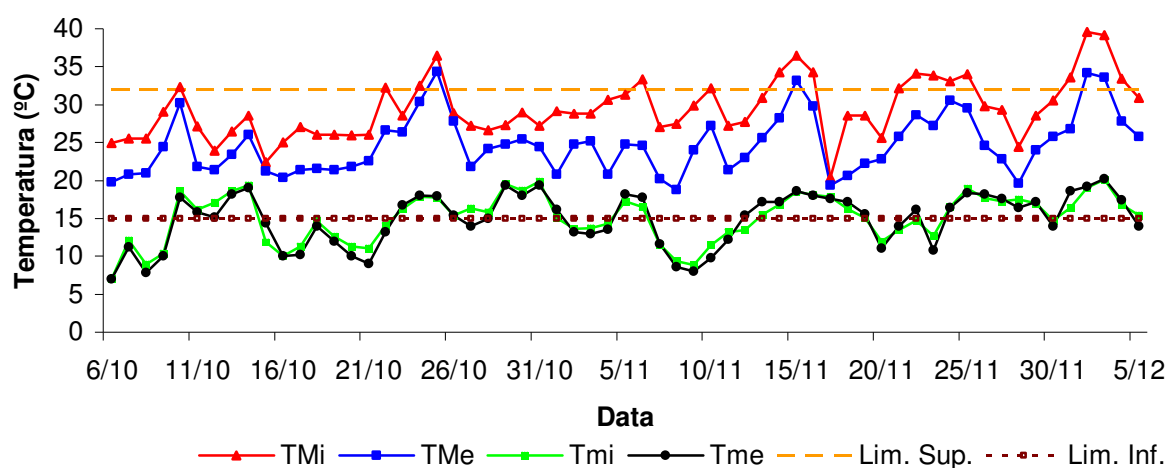


Figura 8 - Valores máximos absolutos diários da temperatura do ar, no interior (Tmi) e exterior (Tme) do ambiente protegido e valores mínimos absolutos diários da temperatura do ar, no interior (Tmi) e no exterior (Tme) do ambiente, limites de temperatura do ar para a cultura, superior (Lim. Sup.) e inferior (Lim. Inf.), durante o período de desenvolvimento da cultura da abóbora italiana, em Pelotas-RS, 2006.

Os valores da temperatura do ar mínima absoluta diária dos ambientes interno e externo (Figura 8) apresentaram similaridade de variação, sendo a temperatura mínima absoluta interna superior à externa em 62,3% dos dias. O valor médio no período de cultivo foi de 15,1°C no ambiente interno, e de 14,9°C no ambiente externo. Em média, a temperatura mínima interna foi superior em 0,2°C à externa, com uma diferença máxima de 2,4°C e de -2,5°C. A temperatura mínima no ambiente interno foi superior ao limite inferior da cultura em 59,0% dos dias enquanto que, no ambiente externo, em 57,2% dos dias, demonstrando que, em

relação às temperaturas mínimas, o ambiente protegido favoreceu minimamente a cultura.

Embora a temperatura mínima do ambiente protegido, em média, tenha sido superior à externa, observa-se que ocorreram muitos dias em que a temperatura mínima externa foi superior, ocorrendo inversão térmica, o que concorda com os resultados obtidos por outros pesquisadores, ou seja, de que as temperaturas mínimas não sofrem tanta influência do material de cobertura, PEBD, que apresenta elevada transmissividade a radiação de onda longa possibilitando uma grande perda de energia do ambiente interno e, por exemplo, dentre outros fatores, que em função das condições meteorológicas do local (vento, limpidez da atmosfera), que os valores absolutos da temperatura mínima dentro do ambiente protegido sejam inferiores aos do ambiente externo (BURIOL et al., 1993; FARIAS et al., 1993b; CAMACHO et al., 1995).

As diferenças entre os valores de temperatura do ar média diurna e média noturna (Figura 9) variaram entre 1,4°C e 13,5°C. O valor médio no período de cultivo da temperatura do ar média diurna foi de 24,1°C e o da média noturna, de 17,4°C, com uma diferença média de 6,7°C. De acordo com Goto (1995 apud BECKMANN, 2004), este diferencial favorece o desenvolvimento da cultura, pois temperaturas mais baixas à noite contribuem para a translocação dos assimilados produzidos pela planta durante o dia. Com relação aos limites de temperatura do ar para a cultura, superior e inferior, a temperatura média diurna manteve-se dentro dos limites durante todo o período de cultivo. No entanto, a temperatura média noturna foi menor que o limite inferior em 19,7% dos dias.

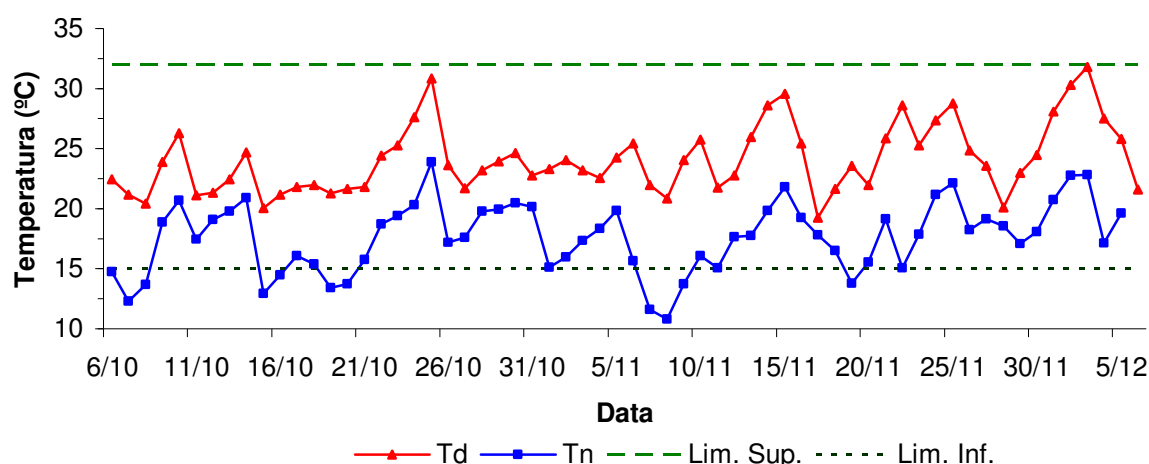


Figura 9 - Valores diários das temperaturas do ar, média diurna (Td) e média noturna (Tn), no interior do ambiente protegido, limites de temperatura para a cultura, superior (Lim. Sup.) e inferior (Lim. Inf.), durante o período de desenvolvimento da cultura da abóbora italiana, em Pelotas-RS, 2006.

A Tabela 5 apresenta, a partir do transplante até o final do ciclo de cultivo, os dados referentes às médias por fase de desenvolvimento fenológico das temperaturas do ar média, máxima e mínima, dentro e fora do ambiente protegido. Para o ambiente protegido, também são apresentadas as médias das temperaturas do ar média diurna e média noturna.

Tabela 5 – Temperaturas médias do ar nas fases de desenvolvimento fenológico da cultura da abóbora italiana, no interior e exterior de ambiente protegido, em Pelotas-RS, 2006.

Fases fenológicas*	Ambiente protegido**					Ambiente externo***		
	TA _{im}	TM _{im}	Tm _{im}	Td _m	Tn _m	TA _{em}	TMe _m	Tme _m
II	19,6	26,5	13,5	22,2	16,7	17,5	22,7	13,1
III	21,3	29,1	15,6	23,9	17,9	19,5	24,7	15,2
IV	22,0	30,7	15,5	25,0	17,2	20,0	25,6	15,5
Total/Média	21,3	29,5	15,1	24,1	17,4	19,4	24,7	14,9

*II, do transplante até o início do florescimento; III, do início do florescimento até o início da frutificação; IV, do início da frutificação até o fim do ciclo de cultivo.

**TA_{im}, temperatura média (°C); TM_{im}, temperatura média das máximas (°C); Tm_{im}, temperatura média das mínimas (°C); Td_m, temperatura média diurna (°C); Tn_m, temperatura média noturna (°C);

***TA_{em}, temperatura média (°C); TMe_m, temperatura média das máximas (°C); Tme_m, temperatura média das mínimas (°C).

A temperatura média do ar no interior do ambiente protegido aumentou do início do experimento até o seu fim, concordando com o aumento da intensidade de radiação solar incidente (Figura 1), o que é característico dessa época de cultivo e

benéfico para a cultura, pois a fase de frutificação coincidiu com maiores níveis de radiação (item 4.2.1) e temperatura, fatores do ambiente que, segundo Puiatti e Silva (2005), podem, dentre outros, influenciar a taxa de crescimento dos frutos. Por fase fenológica, os valores da temperatura média do ar no interior do ambiente protegido foram superiores aos do ambiente externo em 2,1°C, 1,8°C e 2,0°C, nas fases II, III e IV, respectivamente. Tanto os valores de temperatura média internos quanto os externos mantiveram-se dentro dos limites superior e inferior de temperatura para a cultura; porém, analisando-se em relação à faixa ótima de temperaturas para a cultura, observa-se que o ambiente protegido favoreceu a cultura na fase II.

O valor da temperatura do ar média das máximas no interior do ambiente protegido também aumentou do início até ao fim do experimento, mantendo-se superior ao do ambiente externo, com diferenças de 3,8°C, 4,4°C e 5,1°C, respectivamente, para as fases II, III e IV, diferenças que se tornaram maiores com a aproximação da estação de verão. Quanto ao limite superior de temperatura para a cultura, tanto a temperatura média das máximas interna quanto a externa mantiveram-se abaixo do limite em todas as fases.

Os valores da temperatura do ar média das mínimas, interna e externa, apresentaram similaridade de magnitude, assim como fora observado na análise dos dados diários (Figura 8). No ambiente protegido, a temperatura média das mínimas foi superior à do ambiente externo em 0,4°C nas fases II e III; para a fase IV, não houve diferenças. Embora a temperatura média das mínimas no ambiente protegido tenha sido superior à do ambiente externo na fase II, não foi o suficiente para superar, na média, o limite inferior de temperatura para a cultura nesta fase. Nas fases III e IV, o limite inferior foi superado, porém, minimamente, demonstrando novamente a ineficiência do PEBD para a retenção de calor durante a noite, período predominante da ocorrência das mínimas.

As diferenças entre as temperaturas do ar média diurna e média noturna foram de 5,5°C, 6,0°C e 7,8°C, nas fases II, III e IV, respectivamente, sendo que as diferenças aumentaram com a aproximação da estação de verão. Em relação aos limites de temperatura do ar para a cultura, superior e inferior, tanto a temperatura média diurna quanto a temperatura média noturna mantiveram-se dentro desses limites.

Em geral, com relação às temperaturas do ar dentro do ambiente protegido, de acordo com os resultados obtidos, devido à similaridade de valores entre a

temperatura mínima interna e a externa, verifica-se que o maior efeito estufa ocasionado pelo ambiente protegido foi verificado sobre as temperaturas médias e máximas, principalmente sobre as máximas, resultado concordante com os obtidos por outros pesquisadores (FARIAS et al., 1993b; CAMACHO et al., 1995; BURIOL et al., 1997; CUNHA; ESCOBEDO, 2003).

4.2.3 Umidade do ar

O valor médio diário da umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido no período de cultivo foi de 83%, variando entre 73% e 96% (Figura 10). Por fase fenológica, a umidade relativa do ar média foi de 83,5%, 82,7% e 82,1%, para as fases II, III e IV, respectivamente, valores bastante próximos à média do ciclo. Em relação à faixa ótima de umidade relativa para a cultura, entre 65% e 80% conforme Cermeño (1988), os valores médios diários da umidade relativa do ar ficaram dentro dessa faixa em 39,3% dos dias, enquanto que os valores médios por fase fenológica ficaram um pouco acima do limite superior da faixa.

Os valores médios das umidades relativas do ar máxima e mínima durante o período de cultivo foram de 97% e 58%, respectivamente. A máxima variou entre 93,7% e 100%, e a mínima, entre 38,4% e 93,3%. Strassburguer (2007), em estufa localizada ao lado da utilizada neste trabalho, com cultivo de abóbora italiana nos períodos de primavera-verão e verão-outono, obteve, para ambos os períodos de cultivo, 98% de umidade relativa do ar média das máximas, resultado similar ao obtido neste trabalho, que se atribui ao semelhante manejo das aberturas das estufas, isto é, fechamento ao entardecer e abertura no início da manhã, e que vai ao encontro das observações de Buriol et al. (2000) e Martins et al. (1999). Como média das mínimas, Strassburguer (2007) obteve 45,6% (variando de 30% a 80%) no experimento de primavera-verão e 60,3% (variando de 44% a 80%) no experimento de verão-outono. O comportamento da umidade relativa é inversamente proporcional ao da temperatura do ar, tanto para ambiente protegido como externo, pois, à medida que a temperatura do ar aumenta em função do aumento da disponibilidade energética na superfície do solo, a umidade relativa diminui (CUNHA; ESCOBEDO, 2003). No trabalho de Strassburguer (2007), o valor médio da radiação solar global externa para o primeiro período de cultivo (primavera-verão) foi de 21,25 MJ m⁻² dia⁻¹ e, para o segundo, foi de 12,44 MJ m⁻² dia⁻¹. Neste experimento, o valor

médio da radiação solar global externa durante o período de cultivo foi de $19,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (item 4.2.1). Dentre outros fatores, como modelo e área da estufa, sentido das aberturas etc., observa-se que as diferenças nos valores das médias das mínimas nesses três cultivos estão relacionadas com a diferente disponibilidade energética a que foi submetido cada cultivo.

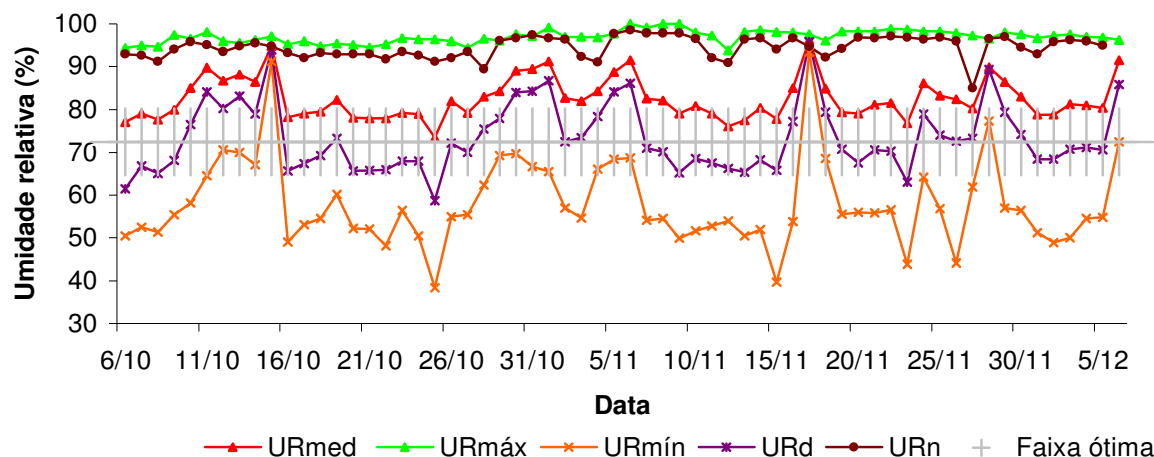


Figura 10 – Valores diários da umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido: média (URméd), máxima (URmáx), mínima (URmín), média diurna (URd), média noturna (URn) e faixa ótima para a cultura, durante o período de desenvolvimento da cultura da abóbora italiana, em Pelotas-RS, 2006.

Por fase fenológica, o valor médio da umidade relativa do ar máxima foi de 96,0%, 96,5% e 97,7%, e o da mínima foi de 61,1%, 58,6% e 56,4%, para as fases II, III e IV, respectivamente. O valor médio por fase da umidade relativa do ar mínima diminuiu da fase II para a fase IV, o que se atribui ao aumento da intensidade da radiação solar (Figura 1) e da temperatura do ar (Tabela 5) ao final do ciclo, devido à aproximação da estação de verão. Quanto ao valor médio da umidade relativa do ar máxima, ocorreria o inverso, ou seja, este aumentou um pouco com o decorrer do ciclo. Os valores de umidade relativa do ar máxima no interior do ambiente protegido ocorreram, em geral, durante a noite, quando este se encontrava fechado, retendo o vapor d'água, e a temperatura do ar era mais baixa, o que contribuiu para a redução da pressão de saturação de vapor d'água. Assim, com certeza, esse aumento da umidade relativa do ar máxima com o decorrer do ciclo explica-se pelo aumento da pressão parcial de vapor d'água no interior do ambiente (Figura 11), ocasionado pelo maior desenvolvimento da cultura nas fases III e IV, que promoveu o aumento da

transpiração da cultura, constatado pela maior frequência de irrigação e maior consumo de água pela cultura.

Os valores médios das umidades relativas do ar média diurna e média noturna foram de 73,4% e 93,0%, respectivamente, durante o período de cultivo. A umidade relativa média diurna variou entre 58,7% e 95,9%, enquanto que a noturna variou entre 85% e 98,5%. Em relação à faixa ótima de umidade relativa do ar, os valores diários da média diurna estiveram dentro da faixa em 93,4% dos dias, enquanto que os da média noturna estiveram fora da faixa em 100% dos dias. Por fase fenológica, a umidade relativa do ar média diurna foi de 74,3%, 74,0% e 72,6%, e a média noturna de 93,8%, 93,9% e 92,1%, para as fases II, III e IV, respectivamente.

No ambiente externo, a umidade relativa média diária durante o período de cultivo foi de 77,4%, variando entre 55% e 96% (Figura 11). A umidade relativa média diária no ambiente interno foi superior à externa em 86,9% dos dias, apresentando uma faixa de variação de seus valores menor do que a do ambiente externo e sendo, em média, no período de cultivo, superior à externa em 7,2%. Por fase fenológica, o valor médio da umidade relativa do ar externa foi de 82,2%, 77,7% e 75,2%, para as fases II, III e IV, respectivamente. Por fase, a umidade relativa do ar média do ambiente interno foi superior à do externo em 1,6%, 6,4% e 9,2%, nas fases, II, III e IV, respectivamente. Observa-se que, no início do ciclo (fase II), quando a cultura ainda não havia atingido o seu pleno desenvolvimento, houve uma maior similitude entre os valores diários da umidade relativa do ar interna e externa, o que se refletiu na menor diferença de médias por fase.

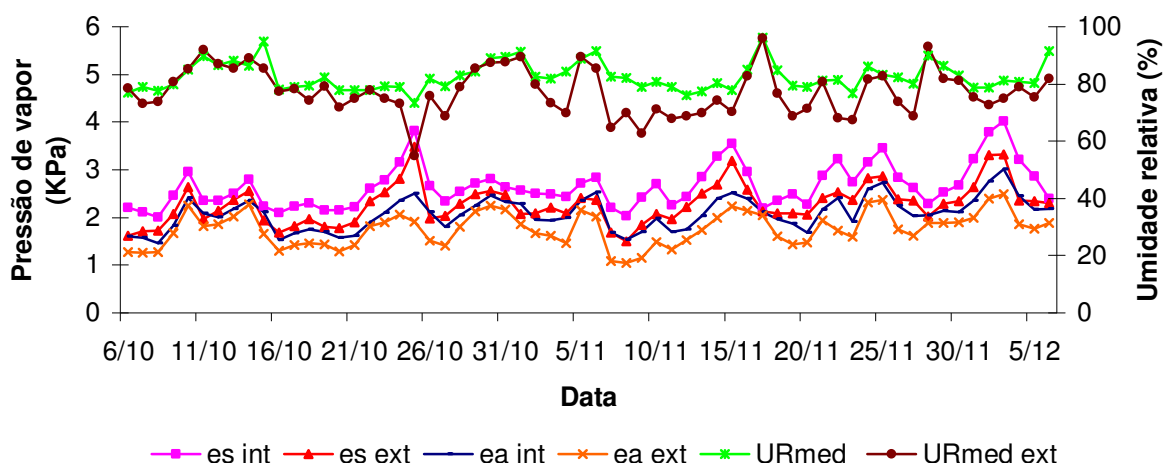


Figura 11 – Pressão de saturação do vapor d'água interna (es int) e externa (es ext), pressão parcial de vapor d'água interna (ea int) e externa (ea ext), umidade relativa do ar média diária interna (URméd) e externa (URméd ext), durante o período de desenvolvimento da cultura da abóbora italiana, em Pelotas-RS, 2006.

O valor médio diário da pressão de saturação do vapor d'água no interior do ambiente protegido durante o período de cultivo foi de 2,66KPa, sendo no ambiente externo de 2,28KPa. No ambiente interno, variou entre 2,01KPa e 4,02KPa, e no externo, entre 1,50KPa e 3,48KPa. A pressão de saturação do vapor d'água do ambiente interno foi superior à do ambiente externo em 100% dos dias do ciclo de cultivo; observa-se uma semelhança na variação dos valores da pressão entre os dois ambientes em função da similaridade de variação das temperaturas do ar média diária interna e externa (Figura 7 e Tabela 5). Percentualmente, o valor médio da pressão de saturação do vapor d'água do ambiente interno foi superior ao do ambiente externo em 16,7% durante o período de cultivo e em 16,7%, 14,8% e 17,8%, nas fases II, III e IV, respectivamente. Quanto à pressão parcial de vapor d'água, o valor médio durante o período de cultivo foi de 2,08KPa para o ambiente interno e de 1,76KPa para o ambiente externo. No ambiente interno, variou entre 1,46KPa e 3,01KPa, enquanto que, no externo, entre 1,05KPa e 2,49KPa. Por fase fenológica, a pressão parcial de vapor no ambiente interno foi de 1,91KPa, 2,08KPa e 2,16KPa, e no externo, de 1,68KPa, 1,77KPa e 1,79KPa, para as fases II, III e IV, respectivamente. Da mesma forma que a pressão de saturação do vapor d'água, a pressão parcial do vapor d'água foi sempre superior no ambiente interno, resultado similar ao obtido por Buriol et al. (2000), que se atribui, dentre outros fatores, principalmente, a menor taxa de renovação do ar dentro do ambiente protegido e ao

fato de a cultura ter sido sempre irrigada de forma a manter a umidade do solo na capacidade de campo, permitindo, assim, a ocorrência de evapotranspiração máxima. Em valores percentuais, a pressão parcial de vapor d'água do ambiente interno foi superior à do ambiente externo em 18,1% durante o período de cultivo e em 13,7%, 17,5% e 20,7%, nas fases II, III e IV, respectivamente. De acordo com os percentuais apresentados, observa-se que, em geral, a superioridade da pressão parcial do vapor d'água do ambiente interno sobre a do externo foi maior do que a superioridade da pressão de saturação do vapor d'água desse ambiente sobre a do ambiente externo, o que explica o predomínio dos maiores valores de umidade relativa do ar no ambiente interno.

4.3 Produção de biomassa fresca de frutos

A análise de variâncias apresentou diferença significativa entre os tratamentos para as variáveis: número de frutos por planta e produção por planta. Os resultados e a comparação entre as médias encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Peso médio de frutos por planta (Pmf), número de frutos por planta (Nfp) e produção por planta (Pp), para a cultura da abóbora italiana cultivada em ambiente protegido com uma dose de vermicomposto bovino sólido (1), duas doses (2) e três doses (3), em Pelotas-RS, 2006.

Tratamentos	Pmf (g)	Nfp	Pp (kg planta ⁻¹)
1	259,3	3,8b ¹	0,99b
2	271,3	6,6a	1,79a
3	265,9	3,9b	1,03b
Teste F	0,42 ^{NS}	38,23*	49,69*
Coeficiente de variação (%)	7,8	11,9	11,3

¹Médias seguidas por letras distintas, na mesma coluna, diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade

NS – Não significativo

* Significativo a 5% de probabilidade

O peso médio de frutos por planta não diferiu significativamente entre os tratamentos, demonstrando a uniformidade do ponto de colheita e, também, que a dose de adubação orgânica não exerceu efeito sobre essa variável. Quanto ao número de frutos por planta, o tratamento 2 apresentou a maior média (6,6 frutos planta⁻¹) e o tratamento 1, a menor (3,8 frutos planta⁻¹), sendo que o tratamento 3

(3,9 frutos planta⁻¹) não diferiu estatisticamente do tratamento 1. Percentualmente, o número de frutos por planta do tratamento 2 superou em 73,7% e 69,2% ao número de frutos por planta dos tratamentos 1 e 3, respectivamente.

A maior produção por planta foi obtida no tratamento 2 (1,79kg planta⁻¹), que superou em 80,8% a produção do tratamento 1 (0,99kg planta⁻¹) e, em 73,8%, o tratamento 3 (1,03kg planta⁻¹). A adição de três doses de vermicomposto bovino sólido proporcionou uma produção por planta de abóbora italiana estatisticamente igual à produção por plantas cultivadas com uma dose do biofertilizante, sendo, em média, apenas 4,0% superior. Com relação ao desenvolvimento foliar, o tratamento 3 também apresentou resultado inferior ao do tratamento 2 (Figura 3). Conforme explicado no item 3.2, neste experimento, como uma medida de recuperação do solo, os canteiros do tratamento 3 foram adubados com três doses de vermicomposto bovino sólido. Como pode ser visto na análise química de solo (Tabela 1), dentre outras diferenças em relação aos outros tratamentos, o solo do tratamento 3 apresentava nível baixo de fósforo e muito baixo de potássio.

De acordo com Ribeiro et al. (em fase de elaboração)¹, em cultivo realizado com a cultura da abóbora italiana no período de outono, cultivo anterior ao deste trabalho, a produção por planta dos canteiros do tratamento 3 (sem adubação) foi de 0,36kg planta⁻¹. Comparando esse resultado com o obtido neste trabalho, observa-se que a produção por planta dos canteiros do tratamento 3, neste experimento, foi superior em 186,1%, o que demonstra, em que pese as diferentes épocas de cultivo, que houve uma melhora nas características do solo. No Apêndice D, é apresentada a análise química de solo realizada após este experimento para os três tratamentos de adubação. Observa-se que o solo dos canteiros do tratamento 3 apresentou uma significativa melhora nos teores de fósforo e potássio em relação à análise química anterior. Pode-se dizer que, quantitativamente, os resultados da análise química de solo para os tratamentos 1 e 3 são bastante similares, o que possivelmente explique os semelhantes resultados obtidos neste experimento de produção por planta e número de frutos por planta. Na comparação com o tratamento 2, o tratamento 3 apresentou resultados de produção bastante inferiores. Em relação aos macronutrientes, observa-se que a diferença mais marcante do tratamento 2 em relação aos tratamentos 1 e 3 está no percentual de matéria orgânica. Parte de alguns nutrientes contidos nos resíduos orgânicos está na forma

¹ RIBEIRO, D.; MENDEZ, M.; SCHÖFFEL, E.; PAULA, V.; FRAGA, D. [Produção orgânica de abóbora italiana cultivada em ambiente protegido durante o outono.] Não publicado, em fase encaminhamento a periódico científico.

orgânica, devendo ser mineralizada para ser absorvida pelas plantas. A partir daí, a fração mineralizada comporta-se de forma semelhante aos nutrientes dos adubos minerais. De acordo com ROLAS (2004), todo potássio aplicado através do adubo orgânico comporta-se como mineral desde a aplicação, uma vez que não faz parte de nenhum composto orgânico estável; portanto, não necessita sofrer a ação dos microorganismos. Por exemplo, considera-se que o fósforo, em resíduos orgânicos, sofre mineralização de cerca de 70% no primeiro ano de cultivo e cerca de 20% no segundo ano. Para o nitrogênio, a taxa de mineralização é de cerca de 50% no primeiro ano e de 20% no segundo ano. De acordo com Santos (2005), na olericultura orgânica, o enfoque das adubações está direcionado não somente aos aspectos químicos da fertilidade do solo, mas também aos seus componentes físicos e físico-químicos (CTC, densidade, porosidade), biológicos (atividade da fauna de solo e microorganismos) e aos efeitos de longo prazo do manejo da matéria orgânica. Nesse sentido, os tratamentos 1 e 2 vinham recebendo, sucessivamente, aplicações de uma e duas doses de vermicomposto bovino sólido, respectivamente (item 3.2); enquanto que os canteiros do tratamento 3 vinham sendo utilizados sem adubação. Assim, acredita-se que o melhor resultado de produção obtido pelo tratamento 2 e o resultado similar obtido entre os tratamentos 1 e 3 estejam relacionados com o histórico de aplicação da adubação orgânica nos canteiros dos tratamentos 1 e 2, ou seja, à medida que os ciclos de rotação/sucessão de culturas vão-se repetindo, as adubações orgânicas vão-se tornando freqüentes e o solo vai-se tornando mais fértil sob os aspectos físico, químico e biológico. Portanto, os resultados obtidos pelo tratamento 3, embora superiores ao do experimento anterior utilizando a mesma cultura, não são conclusivos sobre o uso de três doses de vermicomposto bovino sólido. Recomenda-se que sejam realizados outros experimentos utilizando a respectiva dose de adubação para emissão de um parecer conclusivo sobre os resultados dos componentes da produção aqui avaliados.

Pelo exposto, desconsiderando-se o tratamento 3, para o conjunto das parcelas dos tratamentos 1 e 2, avaliou-se a correlação linear entre a variável produção por planta (P_p) e as variáveis número de frutos por planta (N_{fp}) e peso médio de frutos por planta (P_{mf}). A correlação entre P_p e N_{fp} foi significativa aos níveis de probabilidade de 1 e 5% pelo Teste t , obtendo-se o coeficiente de correlação linear positiva (r) de 0,98. O coeficiente de correlação linear positiva entre

Pp e Pmf foi de 0,37, correlação não-significativa pelo Teste t aos níveis de probabilidade de 1% e 5%. Esses resultados demonstram que o aumento da produção por planta com o aumento da dose de adubação é explicado, em grande parte, devido ao correspondente aumento do número de frutos por planta com a dose de adubação.

De acordo com Ribeiro et al. (em fase de elaboração)¹, para os tratamentos com uma (1) e duas (2) doses de vermicomposto bovino sólido, a produção por planta obtida foi de 0,85kg planta⁻¹ e 1,24kg planta⁻¹, respectivamente, para um ciclo de 55 dias. Comparando-se o resultado do tratamento 1 deste experimento com o do cultivo anterior, verifica-se que a produção por planta neste experimento foi superior em 16,5%. Para o tratamento 2, a produção por planta obtida neste experimento foi superior em 44,4% a do cultivo anterior. Strassburguer (2007), em experimento com a cultura da abóbora italiana cultivada em substrato de casca de arroz *in natura* com recirculação de solução nutritiva em duas estações de cultivo (primavera-verão e verão-outono), observou que no ciclo de primavera-verão ocorreu uma maior produção de matéria seca dos frutos bem como da fração vegetativa das plantas, o que foi atribuído principalmente à maior radiação solar incidente nesse período em relação ao de verão-outono. Segundo Monteith (1972), a produção de biomassa tem relação direta com a quantidade de radiação solar incidente e absorvida pelo dossel. Como foi visto no item 4.2.1, neste experimento, na fase produtiva, a radiação solar global no interior do ambiente protegido esteve 93% dos dias acima do limite trófico; em geral, com valores bastante superiores ao limite trófico (Figura 1). Quanto à temperatura, na fase produtiva o valor médio da temperatura do ar dentro ambiente protegido (Tabela 5) ficou dentro da faixa ótima de temperaturas para a cultura. Portanto, observa-se que as condições ambientais, sobretudo durante a ocorrência da fase produtiva, estiveram favoráveis à cultura no cultivo de primavera, e, certamente, explicam os superiores resultados de produção por planta desse período de cultivo em relação ao de outono. Outro fator a considerar é o de que em cultivos no período de outono, a fase produtiva coincide com níveis mais baixos de radiação solar com conseqüente redução da temperatura à medida que se aproxima a estação de inverno.

¹ RIBEIRO, D.; MENDEZ, M.; SCHÖFFEL, E.; PAULA, V.; FRAGA, D. [Produção orgânica de abóbora italiana cultivada em ambiente protegido durante o outono.] Não publicado, em fase encaminhamento a periódico científico.

4.4 Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa em fitomassa

Na Tabela 7, estão apresentados os valores totais de produção de matéria seca da parte aérea e a eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa incidente em fitomassa da cultura da abóbora italiana, ao final do seu ciclo de cultivo, para os três tratamentos utilizados.

Tabela 7 - Matéria seca total da parte aérea (MS) e eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_{inc}) em fitomassa da cultura da abóbora italiana (EC), cultivada com uma dose de vermicomposto bovino sólido (1), duas doses (2) e três doses (3), em Pelotas-RS, 2006.

Tratamento	MS ($g\ m^{-2}$)	EC ($g\ MJ^{-1}$)
1	241,3b [†]	0,567
2	404,4a	0,950
3	247,8b	0,582
Teste F	11,0*	
C.V. (%)**	18,7	

[†] Médias seguidas por letras distintas, na mesma coluna, diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

* Significativo a 5% de probabilidade

** Coeficiente de variação

Os valores de matéria seca total da parte aérea diferiram estatisticamente entre si pelo teste F. Pelo teste de Duncan, o tratamento 2 diferiu dos tratamentos 1 e 3, apresentando o maior valor de matéria seca, sendo que os tratamentos 1 e 3 não apresentaram diferença estatística. Para uma radiação PAR incidente total no ciclo de cultivo de $425,59 MJ\ m^{-2}$, a maior produção de matéria seca por MJ, maior eficiência de conversão da PAR_{inc} em fitomassa, foi obtida pelo tratamento 2, e a menor, pelo tratamento 1. Em termos relativos, o tratamento 2 obteve uma eficiência de conversão superior em 67,5% e 63,2% a dos tratamentos 1 e 3, respectivamente, enquanto que a eficiência de conversão do tratamento 3, foi superior em apenas 2,6% a do tratamento 1. Assim como ocorrera na análise dos resultados dos componentes de produção número de frutos por planta e produção por planta (item 4.3), os tratamentos 1 e 3 também apresentaram similares valores de matéria seca total e de eficiência de conversão da PAR incidente em fitomassa. De acordo com a discussão realizada no item 4.3, mantém-se para as variáveis avaliadas neste item a

decisão de não considerar como conclusivos os resultados relativos ao uso de três doses de vermicomposto bovino sólido (tratamento 3).

Ribeiro et al. (2007), em Pelotas, no experimento com a cultura da abóbora italiana cultivada com diferentes doses de adubação orgânica (vermicomposto bovino sólido) no ciclo de verão-outono, observaram que a eficiência de conversão da PAR incidente em fitomassa sofreu influência da dose de adubação orgânica, pois apresentou o menor valor para o cultivo sem biofertilizante – tratamento 0 ($0,501\text{g MJ}^{-1}$), com aumento progressivo entre uma dose – tratamento 1 ($0,989\text{g MJ}^{-1}$) e duas doses – tratamento 2 ($1,666\text{g MJ}^{-1}$). O período de cultivo foi de 55 dias (16/03/06 a 10/05/06), a PAR incidente total foi de $214,67\text{ MJ m}^{-2}$ e a matéria seca total da parte aérea foi de 107,52, 212,25 e $357,75\text{g m}^{-2}$ para os tratamentos 0, 1 e 2, respectivamente. Neste trabalho, desconsiderando-se o tratamento 3 pelas razões apresentadas, também se obteve um aumento da eficiência de conversão com a dose de adubação aplicada. Apesar de as condições de cultivo, com exceção da época, terem sido as mesmas (densidade de plantio, dose de adubação, estufa, local, manejo, etc.), comparando-se os resultados dos tratamentos 1 e 2 dos dois experimentos, observa-se que a matéria seca total da parte aérea do tratamento 1, deste trabalho, foi superior em 13,7%, e a do tratamento 2, em 13,0%. Porém, ainda que os valores de matéria seca total tenham sido superiores no período de primavera, os valores das eficiências de conversão da PAR incidente em fitomassa dos tratamentos 1 e 2 do experimento de verão-outono foram superiores em 74,4% e 75,4%, respectivamente. No item anterior, ao se comparar a produção por planta desses dois experimentos, observou-se que a produção por planta dos tratamentos 1 e 2 deste experimento foi superior em 16,5% e 44,4%, respectivamente. Portanto, mesmo que os resultados de produção por planta e os da matéria seca total da parte aérea tenham sido superiores no cultivo de primavera, o que se atribui às condições ambientais, sobretudo durante a ocorrência da fase produtiva, que estiveram favoráveis à cultura nesse período de cultivo, com relação à eficiência de conversão da PAR incidente em fitomassa, o cultivo de verão-outono foi mais eficiente. Resultado similar também foi obtido por Radin et al. (2003) em experimento com a cultura do tomate em três tipos de ambientes (estufa plástica com e sem tela lateral antiinsetos e a céu aberto) nos períodos de cultivo de primavera-verão e verão-outono. Embora o fluxo da radiação solar global (R_s) tenha sido maior no período

primavera-verão (média de $22,74 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) em relação ao período de verão-outono ($14,61 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), em termos relativos, as eficiências de conversão da PAR (transmitida) no período de verão-outono foram superiores às do período de primavera-verão, em 36,0%, 19,7% e 5,0%, nos ambientes com tela, sem tela e a céu aberto, respectivamente. De acordo com os autores, no ambiente a céu aberto, com maior quantidade de PAR incidente, a biomassa produzida foi menor, ao contrário do verificado nos ambientes com tela e sem tela em que, com menor disponibilidade de radiação solar, ocorreu maior produção de matéria seca nos dois ciclos de desenvolvimento da cultura. Em relação ao melhor resultado do ambiente com tela, os autores expuseram que a presença de tela propicia uma distribuição mais uniforme da radiação dentro do dossel vegetal, favorecendo a expansão foliar e, conseqüentemente, a eficiência de uso da radiação.

Ainda que a produção de biomassa tenha relação direta com a quantidade de radiação solar incidente e absorvida pelo dossel (MONTEITH, 1972), a relação entre a taxa de fotossíntese na escala da folha e a radiação fotossinteticamente ativa incidente é representada por um modelo do tipo exponencial (GOUDRIAAN, 1982 apud ANDRIOLO, 1999), pelo qual se observa que, sob baixos níveis de radiação incidente, até um determinado valor, a fotossíntese tem um incremento que responde de forma linear ao incremento da radiação incidente, faixa em que a eficiência de conversão da radiação em fitomassa é maior. Para maiores valores de radiação, a resposta deixa de ser linear, o que caracteriza o comportamento exponencial geral, podendo atingir níveis de radiação saturantes, em que o incremento da radiação praticamente não aumenta a taxa fotossintética. Nesta outra faixa, a eficiência de conversão diminui com o aumento da radiação. Assim, em linhas gerais, comparando-se o ambiente interno da estufa com o externo, pode-se dizer que o fato de a radiação solar dentro da estufa ser inferior à radiação externa faz com que a planta fotossintetize na parte mais linear da sua curva de resposta da fotossíntese à radiação incidente, o que proporciona uma eficiência de conversão da PAR maior em relação ao ambiente externo. O mesmo raciocínio serve para a comparação dos períodos de verão-outono e de primavera, considerando que os níveis de radiação são menores no período de verão-outono. De acordo com Andriolo (1999), outro aspecto a considerar é o de que, quando se passa da escala da planta para aquela de uma cobertura vegetal densa, as folhas situadas nas

camadas inferiores dessa cobertura recebem menos radiação e a fotossíntese da cultura passa, então, a depender da penetração da radiação solar dentro da cobertura. Nesse caso, quanto maior a intensidade da radiação difusa, maior será a penetração da radiação dentro do dossel vegetal, fazendo com que aquelas folhas situadas na parte inferior apresentem uma contribuição maior para a fotossíntese total da planta, aumentando a taxa fotossintética e a eficiência de conversão, o que fora constatado por Aikman (1989 apud RADIN et al., 2003). Como abordado no item 4.2.1.1, ao se compararem os albedos da cultura da abóbora italiana nos períodos de verão-outono e de primavera, observou-se que, no período de verão-outono, comparativamente ao período de primavera, o ângulo zenital é maior, tornando as superfícies mais refletivas, resultado observado na comparação dos valores de albedo dos dois períodos. Embora não tenha sido medida a radiação difusa dentro da estufa em nenhum dos períodos, em função da maior reflectância da cultura à radiação incidente no período de verão-outono, neste período, em termos relativos à radiação incidente, provavelmente, a radiação difusa tenha sido superior à do período de primavera, o que também explicaria, ao menos em parte, a maior eficiência de conversão da PAR incidente em fitomassa obtida no período de verão-outono. Como exemplo do exposto, Sinclair e Horie (1989 apud RADIN et al., 2003), verificaram que, em baixo IAF, a eficiência de uso da radiação é baixa, pois a maioria das folhas está sujeita à saturação fotossintética por radiação. Com o decorrer do ciclo da cultura, como a fração de área foliar sombreada aumenta, aumenta também a eficiência de uso da radiação em decorrência do incremento na contribuição relativa das folhas sombreadas para o acúmulo de biomassa da cultura, à medida que aumenta a fração difusa, e também da maior uniformidade da radiação no interior do dossel.

A evolução da eficiência de interceptação (ϵ_i) da radiação fotossinteticamente ativa, observada sobre a cultura da abóbora italiana com uma dose de vermicomposto bovino sólido (Figura 12), que pode ser representada por um modelo polinomial de segunda ordem conforme sua linha de tendência, demonstra que, inicialmente, a eficiência de interceptação aumentou, acompanhando o desenvolvimento foliar da cultura (Figura 3), estabilizando no período entre 35DAT e 45DAT. A partir do 46ºDAT, a eficiência de interceptação começou a decrescer, acompanhando também o decréscimo da área foliar da

cultura atribuído à retirada de folhas senescentes e/ou atacadas por fungo. No período em que a PAR transmitida foi medida (entre 22DAT e o fim do ciclo de cultivo), o valor médio da eficiência de interceptação foi de 0,72. Para o ciclo total da cultura, considerando a eficiência de interceptação estimada para o período entre 0 e 21DAT, o valor médio foi de 0,58. Por fase fenológica, os valores médios foram de 0,19, 0,59 e 0,74 para as fases II, III e IV, respectivamente.

Para uma radiação PAR interceptada total no ciclo de cultivo de 255,26 MJ m⁻², a eficiência de conversão da PAR interceptada em fitomassa, relativa ao tratamento 1, foi de 0,945 g MJ⁻¹.

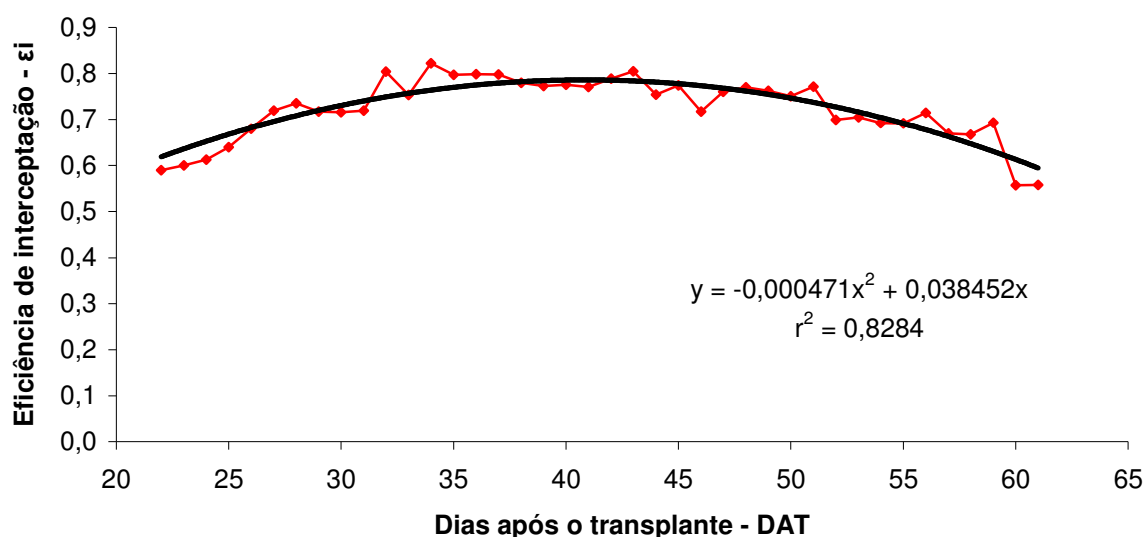


Figura 12 – Evolução da eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa observada sobre a cultura da abóbora italiana com uma dose de vermicomposto bovino sólido, no interior de ambiente protegido, em Pelotas-RS, 2006.

5 CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos e as condições em que o experimento foi realizado, conclui-se que:

- Os resultados obtidos para o tratamento com adubação de três doses de vermicomposto bovino sólido (3) não são conclusivos e, portanto, não estão sendo considerados nas conclusões a seguir.

- A radiação solar interna apresentou elevada correlação com os fluxos radiativos do balanço de ondas curtas e saldo de radiação. Em relação ao limite trófico da cultura, a ocorrência de níveis de radiação solar limitantes foi similar entre o ambiente protegido e o ambiente externo. No ambiente interno, mesmo com menores níveis de radiação, a radiação solar interna foi superior ao limite trófico na maioria dos dias do ciclo. A adubação utilizada influenciou o albedo da cultura, tanto no ciclo total quanto nas diferentes fases fenológicas consideradas. A maior área foliar do tratamento com duas doses de vermicomposto bovino sólido foi responsável pelo maior valor de albedo obtido. As variações no albedo do cultivo bem como das condições atmosféricas observadas em cada dia, também influenciaram o comportamento dos fluxos radiativos.

- O maior efeito estufa ocasionado pelo ambiente protegido foi verificado sobre as temperaturas médias e máximas, principalmente, sobre as máximas. Para as temperaturas mínimas, os valores internos e externos foram similares durante todo o ciclo da cultura, demonstrando que a cobertura plástica foi ineficiente na retenção de calor durante a noite, período predominante da ocorrência das mínimas. Em relação aos limites de temperatura do ar e faixa ótima para a cultura, o ambiente protegido, na comparação com as condições do ambiente externo, favoreceu a cultura, principalmente, quando se consideram os valores médios da temperatura do

ar (mínima, média e máxima). Com relação à umidade relativa do ar, verifica-se que, em geral, o ambiente protegido não favoreceu a cultura. Esse não-favorecimento foi devido, principalmente, aos elevados valores da umidade relativa no período noturno em virtude do fechamento da estufa.

- O tratamento com duas doses de vermicomposto bovino sólido foi o que apresentou maiores níveis de produção de frutos e, conseqüentemente, a maior produtividade, sendo também o tratamento que apresentou a maior eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR incidente) em fitomassa da cultura da abóbora italiana.

6 REFERÊNCIAS

AAO, Associação de Agricultura Orgânica. **O que é agricultura orgânica?**
Disponível em: <<http://www.aao.org.br/>>. Acesso em 24 de outubro de 2007.

ALDRIGHI, C.B. **Produção de feijão vagem em duas épocas de cultivo em ambiente protegido com adubação orgânica**. 2000. 62f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

ALDRIGHI, C. B. **Crescimento e desenvolvimento da cultura da berinjela em ambiente protegido**. 2004. 59f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia da culturas protegidas**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1999, 142p.

ANDRIOLO, J. L. **Olericultura geral: princípios e técnicas**. Santa Maria: Ed. UFSM, 2002, 158p.

ARAÚJO, W. F. **Aplicação de água carbonatada em abobrinha cultivada em solo com e sem cobertura plástica**. 2002. 86f. Tese (Doutorado), ESALQ, Piracicaba-SP.

ASSIS, S. V. ; ESCOBEDO, J. F. . Transmissividade do polietileno à radiação solar global. In: XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 1999, Florianópolis. **Anais do...** Florianópolis, SC, 1999.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação Agrícola**. Jaboticabal-SP: FUNEP, 3ª ed., 1995, 247p.

BECKMANN, M. Z. **Uso da radiação solar pela cultura do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sob adubação orgânica em ambiente protegido**. 2004, 85f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

BAKKER, J.C. Greenhouse climate control: constraints and limitations. **Acta Horticulturae**, Kyoto, n.399, p.25-35, 1995.

BETTIOL, W. Leite de vaca cru para o controle de oídio. **Comunicado Técnico 14** - Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP, abr./ 2004.

BISOGNIN, D. A. Origin and evaluation of cultivated cucurbits. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.5, p.715-723, 2002.

BÖHMER, C. R.; SCHÖFFEL, E.; MENDEZ, M.; RIBEIRO, D.; PAULA, V.; FRAGA, D. Albedo de morangueiro sob cultivo orgânico em ambiente protegido. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XV CBAGRO, 2007. **Anais do...** Aracaju-SE: XV CBAGRO, julho, 2007.

BONILLA, J.A. **Fundamentos da agricultura ecológica. Sobrevivência e qualidade de vida.** São Paulo: Nobel, 1992, 260p.

BURIOL G. A.; SCHNEIDER F. M.; ESTEFANEL V.; ANDRIOLO J. L.; MEDEIROS, S. L. Modificação na temperatura mínima do ar causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 43-49, 1993.

BURIOL, G.A.; LUFT, S.V.L.; HELDWEIN, A.B.; STRECK, N.A.; SCHNEIDER, F.M. Efeito da ventilação sobre a temperatura e umidade do ar em túneis baixos de polietileno transparente e o crescimento da alface. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, p.17-24, 1997.

BURIOL, G. A.; RIGHI, E. Z.; SCHNEIDER, F. M.; STRECK, N. A. HELDWEIN, A. B.; ESTEFANEL, V. Modificação da umidade relativa do ar pelo uso e manejo da estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.1, p.11-18, 2000.

BURIOL, G. A.; LAGO, I.; HELDWEIN, A. B.; SCHNEIDER, F. M.; ANDRIOLO, G. Disponibilidade de radiação solar para hortaliças cultivadas em ambiente protegido no período invernal no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 21-26, 2005.

CAMACHO, M.; 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, L. S. **As hortaliças e seu cultivo.** Campinas: Fundação Cargill, 3ª ed., 252p., 1992.

CERMEÑO, Z. S. **Cultivo de plantas hortícolas em estufa.** Lisboa: 1ª ed., Litexa Editora, 1988, 368p.

CLARO, S. A. **Referenciais Tecnológicos para a agricultura familiar ecológica: a experiência da região centro-serra do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2001, 250p.

CUNHA, A.R.; ESCOBEDO, J.F.; KLOSOWSKI, E. S.; GALVANI, E. Saldo de radiação e produtividade da cultura de pimentão em ambiente protegido e campo. In: III Congresso Brasileiro de Biometeorologia, 2001, Maringá. **Anais...** Maringá, PR: SBBiomet, 2001.

CUNHA, A. R.; ESCOBEDO, J. F. Alterações micrometeorológicas causadas pela estufa plástica e seus efeitos no crescimento e produção da cultura de pimentão. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 15-27, 2003.

CUNHA, G. R.; DE PAULA, J. R. F.; BERGAMASCHI, H.; SAIBRO, J.C.; BERLATO, M. A. Balanço de radiação em alfafa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.110, 1993.

DAROLT, M.R. **Evolução da Agricultura no Contexto Brasileiro**. Disponível em:<<http://www.planetaorganico.com.br/brasil.htm>>. Acesso em 07 de agosto de 2007.

DUARTE, G.R.B. **Medida e estimativa do consumo hídrico do tomateiro cultivado sob adubação orgânica em ambiente protegido numa perspectiva agroecológica**. 2006, 101f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FAO. **Protected cultivation in the mediterranean climate**. Rome, 1990. 313p. (FAO Plant Production and Protection Paper, 101).

FAO. Organic Agriculture and Food Availability. In: International Conference on Organic Agriculture and Food Security, 2007, Roma. **Anais do....** Roma: FAO, 2007. OFS/2007/1.

FARIAS, J. R. B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S. R.; BERLATO, M. A. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 31-36, 1993.

FARIAS, J.R.B., BERGAMASCHI, H. MARTINS, S.R., BERLATO, M.A.; OLIVEIRA, A.C.B. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso de estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.51-62, 1993.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2ª ed. revisada e ampliada. Viçosa: UFV, 412p., 2003.

FONTES, P. C. R.; SILVA, D. J. H. Cultivo em ambiente protegido. In: **Olericultura: Teoria e Prática**. Viçosa, MG: Paulo Cezar Rezende Fontes – editor, 2005. p. 211-237.

FRISINA, V. A.; ESCOBEDO, J. F. Balanço de radiação e energia da cultura de alface em estufa de polietileno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.10, p.1775-1786, out. 1999.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; KLOSOWSKI, E. S.; CUNHA, A. R. Balanço de radiação de ondas curtas e albedo em cultura de pepino (*Cucumis sativus* L.) em meio protegido por polietileno. In: XXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. **Anais...** Pelotas, RS, 1999.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; PEREIRA, A.; CAMPOS, C. J. Albedo em cultura de pepino cultivado dentro e fora de estufas de polietileno – modelos de estimativa. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais do...** Rio de Janeiro, RJ, 2000.

GUISELINI C.; SENTELHAS P. C. Uso de malhas de sombreamento em ambiente protegido I: Efeito na temperatura e na umidade do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 9-17, 2004.

HECKLER, B. M.; BERGAMASCHI, H.; COMIRAN, F.; DALMAGO, G.; BERGONCI, J.; MARTORANO, L.; KUNZ, J.; DALSIN, F. Trocas de energia na superfície do solo em plantio direto e preparo convencional: I balanço de radiação. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XV CBAGRO, 2007. **Anais do...** Aracaju-SE: XV CBAGRO, julho, 2007.

IBD, Instituto Biodinâmico. **A Agricultura Orgânica no Brasil**. Disponível em: <<http://www.ibd.com.br/News.Detalhe.aspx?idnews=4>>. Acesso em 07 de agosto de 2007.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário de 1996**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/horti/>>. Acesso em: 26 julho de 2007.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Tabela 1.1 – Aquisição alimentar domiciliar per capita anual, por Grandes Regiões segundo os produtos – período 2002-2003**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2002aquisicao/tab11.pdf>>. Acesso em: 26 de julho de 2007.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Tabela 2.1 - Aquisição alimentar domiciliar per capita anual, por classes de rendimento monetário e não-monetário mensal familiar, segundo os produtos - Brasil - período 2002 - 2003**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicao_devida/pof/2002aquisicao/tab21.pdf>. Acesso em: 26 de julho de 2007.

IEA, Instituto de Economia Agrícola - SP. Área e produção dos principais produtos da agropecuária do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/OUT/banco/menu.php>>. Acesso em: 27 de julho de 2007.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Rima: São Carlos, 2000. 531p.

LAURA, V. A. **Conservação de flores de aboboreira “piramoita” para cruzamentos e produção de sementes**. 2003, 63f. Tese (doutorado) - Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu-SP.

LUNARDI, D. M. C.; KLOSOWSKI, E. S.; SANDANIELO, A. Consumo hídrico e coeficiente de cultura da abóbora italiana na região de Botucatu-SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 179-182, 1999.

MARTINS, S.R., FERNANDES, H.S., ASSIS, F.N. de., MENDEZ, M.E.G. Caracterização climática e manejo de ambientes protegidos: a experiência brasileira. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 200/201, p. 15-23, Set. 1999.

MOLINAR, R; AGUIAR, J; GASKELL, M; MAYBERRY, K. **Summer Squash Production in California. University of California – Division of Agriculture and Natural Resources**. Disponível em: < <http://anrcatalog.ucdavis.edu/pdf/7245.pdf> >. Acesso em: 08 de outubro de 2007.

MONTEITH, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**. Vol. 9, No. 3, p. 747-766, 1972.

MORSELLI, T. B. A. G. **Cultivo sucessivo de alface sob adubação orgânica em ambiente protegido**. 2001, 178f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

MORSELLI, T. B. G. A.; FERNANDES, H. S. Produção de mudas de alface (*Lactuca sativa*, L.) em diferentes substratos. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.2, julho, 2002. Suplemento 2.

MOURA, A. L. M.; LYRA, R. F. F.; BENINCASA, M.; SOUZA, J. L.; NASCIMENTO FILHO, M. F. Variação do albedo em áreas de floresta e pastagens na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.2, p. 163-168, 1999.

PAULA, V. A. **Cultivo do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) em ambiente protegido sob adubação orgânica**. 2007, 82f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

PEIL, R. M. N. **Radiación solar interceptada y crecimiento del pepino cultivado em NFT**. 2000. 210f. Doutorado em Agronomia (Agric Intensivas y Cultivos Protegidos), Universidad de Almería, U.A.L., Espanha.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002, 478p.

PEZZOPANE, J. E. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; ORTOLANI, A. A. Modificações microclimáticas provocadas por estufa com cobertura plástica. **Bragantia**, Campinas, 54(2), p.419-425, 1995.

PIRES, J.; JUNQUEIRA, A. Impacto da adubação orgânica na produtividade e qualidade dos frutos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.19, p.195, Palestras, suplemento julho de 2001.

PUIATTI, M; SILVA, D. J. H. Abóboras e Morangas. In: **Olericultura: Teoria e Prática**. Viçosa, MG: Paulo Cezar Rezende Fontes – editor, 2005. p. 279-297.

RADIN, B.; BERGAMASCHI, H.; REISSER JUNIOR, C.; BARNI, N. A.; MATZENAUER, R.; DIDONÉ, I. A. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1017-1023, set. 2003.

RECH, E.G. **Adubação orgânica e mineral na produção, qualidade e composição química de sementes de abobrinha (*Cucurbita pepo* L. var. *melo* cv: Caserta)**. 2003. 119f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS.

RIBEIRO, D. S. **Análise Harmônica da Radiação Solar Global Mensal na Região de Pelotas-RS**. 2003, 78f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

RIBEIRO, D.; PAULA, V.; MENDEZ, M.; SCHÖFFEL, E.; FRAGA, D. Medidas do Albedo em cultivo de abóbora italiana (*Cucurbita pepo* L. var. *melo* cv. Caserta) em ambiente protegido. In: XV Congresso de Iniciação Científica - VIII Encontro de Pós-Graduação. **Anais do...** Pelotas, RS: Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, 2006.

RIBEIRO, D.; MENDEZ, M.; SCHÖFFEL, E.; BÖHMER, C. R. K.; PAULA, V.; FRAGA, D. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa para a produção de fitomassa da cultura da abóbora italiana em ambiente protegido. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XV CBAGRO, 2007. **Anais do...** Aracaju-SE: XV CBAGRO, julho, 2007.

ROLAS. **Recomendação de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) – Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e fertilidade do Solo –RS/SC, Porto Alegre. 10ª Edição, 394p., 2004.

SANTOS, A. M.; MEDEIROS, A. R. M. Nutrição, calagem e adubação. In.: **Morango Produção**. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003a. Frutas do Brasil; 40. 81p., 2005.

SANTOS, R. H. S. Olericultura orgânica. In: **Olericultura: Teoria e Prática**. Viçosa, MG: Paulo Cezar Rezende Fontes – editor, 2005. p. 249-276.

SCHIEDECK, G. **Ambiência e resposta agronômica de meloeiro (*Cucumis melo* L.) cultivado sob adubação orgânica em ambiente protegido**. 2002, 100f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

SENTELHAS, P. C.; SANTOS, A. O. Cultivo Protegido: Aspectos Microclimáticos. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas-SP, v.1, n.2, p.108-115, 1995.

SILVA, M.A.S. da. **Coleta e caracterização de germoplasma de *Cucurbita* spp. com ênfase em *C. pepo* no Rio Grande do Sul**. 1994. 127f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS.

SILVA, M. A. A.; ESCOBEDO, J. F.; GALVANI E.; CUNHA. Avaliação de temperatura e umidade relativa do ar em estufa com cobertura de polietileno. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...** Rio de Janeiro, RJ, 2000.

SOUZA, J. L.; ESCOBEDO, J. F. Balanço de radiação em cultivos de feijão-vagem com e sem cobertura de polietileno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.1, p.1-15, jan. 1997.

SOUZA, J. L.; ESCOBEDO, J. F.; TORNERO, M. T. T. Albedo e estimativas do saldo de radiação em feijão-vagem sob cobertura de plástico e ambiente externo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.34, n.10, p.1763-1774, out. 1999.

SOUZA, J. L.; RESENDE, P. **Manual de horticultura orgânica**. Viçosa: Aprenda Fácil Editora, 2003, 564p.

SOUSA, J. W.; MARTINS, D.; CUNHA, A. R.; ESCOBEDO, J. F.; GALVANI, E. Alterações da temperatura e umidade relativa do ar em ambiente protegido com cobertura de polietileno difusor de luz. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, V.1, p.1-9, 2002.

SOUZA, L. M. **Alterações químicas do solo decorrentes da aplicação de vermicompostos na cultura do alface (*Latuca sativa* L.)**. 2004, 74f. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

SOUZA, M. F.; LÚCIO, A. D.; STORCK, L; CARPES, R. H.; SANTOS, P. M.; SIQUEIRA, L. F. Tamanho da amostra para peso da massa de frutos, na cultura da abóbora italiana em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.8, n.2, p.123-128, mai-ago, 2002.

STEINMETZ, S.; MIORI, P. R. B. Melhoria no sistema de vedação de tubos solarímetros construídos com placas de circuito impresso. In.: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10., 1997, Piracicaba, **Anais do...** Piracicaba: SBA, 1997, p.207-209.

STRASSBURGUER, A. **Crescimento da abobrinha italiana cultivada em substrato de casca de arroz in natura com recirculação da solução nutritiva em duas estações de cultivo**. 2007, 119f. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, planta e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 188p. (Boletim Técnico, 5).

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 2000. 448p.

WMO (World Meteorological Organization). **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**. WMO-No. 8, Preliminary Seventh Edition. Geneva (Switzerland), 2006.

Apêndices

APÊNDICE A – Observações meteorológicas externas ao ambiente protegido

Tabela1A – Observações meteorológicas realizadas na Estação Agroclimatológica de Pelotas, convênio UFPel/EMBRAPA, durante o período de 06 de outubro a 06 de dezembro de 2006.

Data	Variáveis*								
	RS	I	PR**	TA	TM	Tm	UR	EV	VM
06/10	22,48	11,2	0,0	14,2	19,8	7,0	78,5	4,4	3,2
07/10	16,83	8,1	0,0	15,1	20,8	11,2	73,3	5,4	2,6
08/10	23,40	11,4	0,0	15,2	21,0	7,8	73,8	6,6	3,0
09/10	22,44	10,9	0,0	18,1	24,4	10,0	80,8	6,1	4,9
10/10	15,16	5,5	5,6	22,0	30,2	17,8	85,3	5,5	2,7
11/10	8,21	3,4	7,0	17,3	21,8	15,8	92,0	2,8	2,1
12/10	13,19	4,3	0,0	18,6	21,4	15,2	87,0	3,7	6,3
13/10	8,33	0,8	0,0	20,2	23,4	18,2	85,5	2,4	9,0
14/10	15,87	6,0	3,0	21,5	26,0	19,0	89,0	6,0	8,3
15/10	2,43	0,0	20,4	17,0	21,2	14,4	85,5	1,6	2,9
16/10	24,83	11,9	0,0	14,8	20,4	10,0	77,5	6,0	2,8
17/10	23,99	11,8	0,0	16,0	21,4	10,2	78,3	6,3	3,6
18/10	17,25	6,9	0,0	17,2	21,6	14,0	74,3	5,8	4,7
19/10	17,00	6,2	0,0	15,9	21,4	12,0	79,3	4,2	4,5
20/10	24,87	12,0	0,0	15,7	21,8	10,0	71,8	7,4	3,6
21/10	24,33	11,8	0,0	16,7	22,6	9,0	75,0	5,7	4,9
22/10	22,19	11,0	0,0	20,0	26,6	13,2	77,8	7,8	4,2
23/10	24,41	12,0	0,0	21,3	26,4	16,8	75,0	7,5	6,5
24/10	23,86	11,3	0,0	23,0	30,4	18,0	73,3	8,5	5,5
25/10	22,32	11,3	0,0	26,6	34,4	17,9	55,0	8,7	1,9
26/10	18,30	8,6	2,2	17,4	27,8	15,4	76,0	6,1	4,0
27/10	19,47	5,7	0,4	17,8	21,8	14,0	68,8	2,4	5,6
28/10	17,33	6,2	0,0	19,7	24,2	15,0	79,0	6,5	6,7
29/10	12,06	1,0	3,0	21,0	24,8	19,4	85,5	4,3	7,0
30/10	10,43	1,5	0,2	21,5	25,4	18,0	87,5	3,1	3,0
31/10	8,83	0,1	1,2	20,9	24,4	19,4	87,8	1,3	2,6
01/11	9,92	3,6	3,4	18,1	20,8	16,2	89,5	2,9	2,2
02/11	22,65	11,6	0,0	18,2	24,8	13,2	79,8	6,9	1,9
03/11	17,25	5,7	0,0	19,1	25,2	13,0	73,5	6,0	3,6
04/11	12,10	1,0	0,0	18,2	20,8	13,6	69,8	4,4	7,8
05/11	9,59	1,2	11,4	20,5	24,8	18,2	89,5	5,9	9,9
06/11	11,85	3,1	64,0	20,2	24,6	17,8	85,5	4,2	5,5
07/11	25,04	12,2	0,0	14,8	20,2	11,6	64,8	8,9	5,0
08/11	27,42	12,6	0,0	13,0	18,8	8,6	69,8	7,8	4,0
09/11	27,68	12,6	0,0	16,2	24,0	8,0	62,8	7,9	4,6
10/11	26,88	12,1	0,0	18,1	27,2	9,8	71,3	8,9	4,5
11/11	21,06	8,8	0,0	17,2	21,4	12,2	67,8	8,0	3,7
12/11	25,00	10,9	0,0	19,2	23,0	15,4	68,8	8,8	7,1
13/11	27,59	12,4	0,0	21,1	25,6	17,2	69,8	8,5	7,6
14/11	27,55	12,2	0,0	22,3	28,2	17,2	74,3	8,8	6,6
15/11	23,70	10,3	0,0	25,1	33,2	18,6	70,3	8,1	3,7
16/11	18,00	6,6	9,2	21,6	29,8	18,0	82,8	6,9	4,6

Tabela1A – Observações meteorológicas realizadas na Estação Agroclimatológica de Pelotas, convênio UFPel/EMBRAPA, durante o período de 06 de outubro a 06 de dezembro de 2006.

Data	Variáveis*								
	RS	I	PR**	TA	TM	Tm	UR	EV	VM
17/11	2,30	0,0	38,6	18,5	19,4	17,6	96,0	1,8	2,9
18/11	11,81	1,1	0,4	18,2	20,6	17,2	76,8	4,9	6,1
19/11	23,45	9,4	0,0	18,2	22,2	15,6	68,8	7,7	5,2
20/11	24,95	12,6	0,0	18,0	22,8	11,0	71,5	7,5	4,4
21/11	25,54	11	0,0	20,5	25,8	14,0	80,8	8,4	6,1
22/11	27,63	12,4	0,0	21,3	28,6	16,2	68,0	8,6	2,4
23/11	28,51	12,3	0,0	20,2	27,2	10,8	67,5	9,3	4,6
24/11	17,84	5,7	0,0	23,1	30,6	16,4	81,8	4,6	2,4
25/11	22,02	9,4	0,0	23,3	29,6	18,4	82,8	7,5	4,0
26/11	19,26	6,3	0,0	20,3	24,6	18,2	73,8	7,4	4,7
27/11	17,38	4,5	0,0	20,1	22,8	17,6	68,8	8,2	6,3
28/11	6,20	0,0	1,0	17,7	19,6	16,4	93,0	2,4	5,5
29/11	13,06	2,4	1,4	19,7	24,0	17,2	82,0	3,0	4,2
30/11	21,86	10,0	1,0	20,0	25,8	14,0	81,3	7,4	4,8
01/12	28,64	12,8	0,0	22,0	26,8	18,6	75,5	8,9	6,1
02/12	23,61	9,0	0,0	25,7	34,2	19,2	72,8	7,5	4,7
03/12	21,52	6,7	0,0	25,8	33,6	20,2	75,0	7,9	2,9
04/12	25,08	10,8	0,0	20,1	27,8	17,4	79,0	9,6	2,2
05/12	25,46	10,6	0,0	20,0	25,8	14,0	75,5	7,1	3,8
06/12	21,81	11,0	0,0	19,8	25,0	17,0	82,0	7,5	3,5

*RS, radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); I, insolação (horas e décimos); PR, precipitação pluviométrica (mm); TA, temperatura média diária ($^{\circ}\text{C}$); TM, temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$); Tm, temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$); UR, umidade relativa (%); EV, evaporação tanque tipo Classe "A" (mm); VM, velocidade média do vento à 7m de altura (m s^{-1}).

**Precipitação pluviométrica registrada nas leituras das 9h, 15h e 21h.

APÊNDICE B – Croqui da estufa

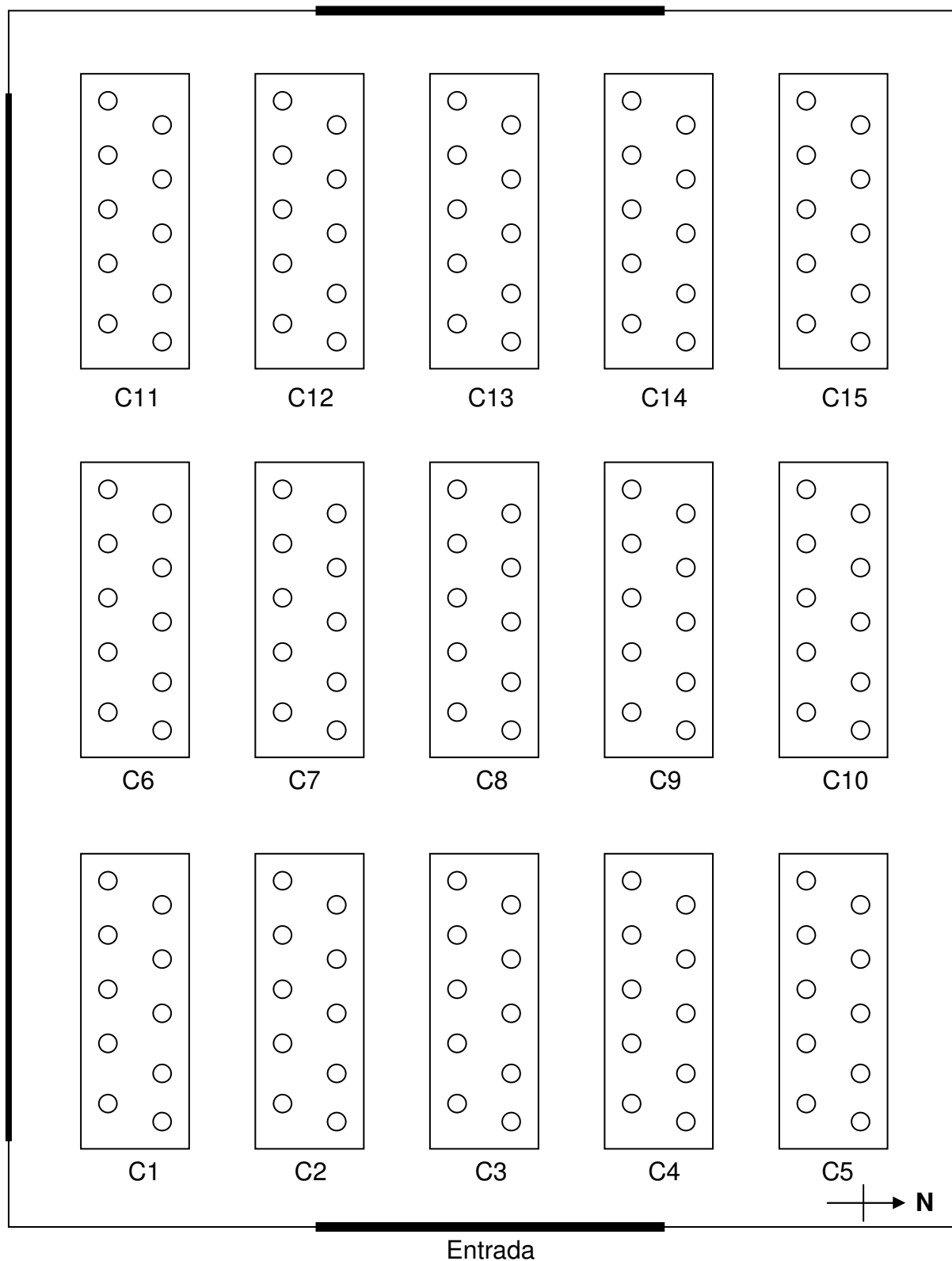


Figura 1B – Croqui da distribuição dos canteiros no interior do ambiente protegido para os tratamentos de uma dose de vermicomposto bovino sólido - 1 (canteiros 4, 9, 10, 11 e 15), duas doses - 2 (canteiros 1, 2, 3, 7 e 13) e três doses - 3 (canteiros 5, 6, 8, 12 e 14).

APÊNDICE C – Tubos solarímetros



Figura 1C – Distribuição dos tubos solarímetros sobre os três canteiros do bloco central do ambiente protegido, sendo que cada canteiro representa um tratamento de adubação.

APÊNDICE D – Análise química de solo

Tabela1D – Resultado e interpretação da análise química de solo por tratamento de adubação do local de cultivo da abóbora italiana, realizada posteriormente ao cultivo, em Pelotas-RS, 2006.

Tratamento*	Argila (%)	pH	ISMP	MO (%)	P	K	Na	Al	Ca	Mg
					(mg dm ⁻³).....			(cmol _c dm ⁻³)....		
1	9	5,8 (M)	6,6	2,1 (B)	>50,5 (MA)	27 (B)	57	0,0	6,8 (A)	1,4 (A)
2	9	6,3 (A)	6,9	2,8 (M)	>50,5 (MA)	42 (B)	86	0,0	13 (A)	1,8 (A)
3	12	5,5 (M)	6,2	2,4 (B)	43,2 (MA)	28 (B)	62	0,1	6,4 (A)	1,7 (A)

*Tratamento 1, uma dose de vermicomposto bovino sólido (VBS); Tratamento 2, duas doses de VBS; Tratamento 3, três doses de VBS.

Obs.: as letras entre parênteses representam a interpretação do respectivo valor acima, conforme legenda: (MB) muito baixo; (B) baixo; (M) médio; (A) alto; (MA) muito alto. Fonte: LAS/FAEM/UFPel – ROLAS (2004).