

**ALESSANDRA ASSUNÇÃO ALVES DE BRITO**

**CASA DE VEGETAÇÃO  
COM DIFERENTES COBERTURAS:  
DESEMPENHO EM CONDIÇÕES DE VERÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2000

Aos meus pais, Nonô e Clarice, por todo o apoio que sempre deram às minhas decisões, sem eles certamente o caminho para essa vitória seria mais difícil.

## **AGRADECIMENTO**

A realização deste trabalho de pesquisa contribuiu de forma muito positiva para o meu aperfeiçoamento profissional e até mesmo pessoal. No decorrer de seu desenvolvimento tive a oportunidade de trabalhar e conviver com várias pessoas que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização desta Dissertação. Meus sinceros agradecimentos às instituições e pessoas que contribuíram para a concretização deste trabalho, em particular, às relacionadas a seguir:

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade concedida, pelo curso ministrado e pelo apoio na execução dos experimentos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa.

Ao professor Fernando da Costa Baêta, pela orientação, pelos conselhos e, principalmente, pelo crédito e apoio na realização deste trabalho.

Ao professor Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá, pela dedicada orientação, pelos conhecimentos compartilhados, pela cumplicidade e pela amizade.

À professora Hermínia Emília Pietro Martinez, pela preciosa orientação, pelo apoio e incentivo na realização deste trabalho.

Ao professor Everardo Chartuni Mantovani, pela colaboração na implantação da fase experimental desta pesquisa.

Aos professores, Hermínia Emília Pietro Martinez, Ilda de Fátima Ferreira Tinôco e Evandro de Castro Melo, pela colaboração e amizade.

Ao professor Antônio Santana Ferraz, pela disponibilização de

equipamentos para o tratamento dos dados experimentais.

Ao Eng.º Rui Carlos da área de Construções Rurais e Ambiente, pela ajuda fundamental na implantação do experimento de campo.

Aos meus colegas da área de Construções Rurais e Ambiente: Eraldo, Marcelo, Moisés, Rodrigo, Rolf, Rosana, Sandra, Tadayuchi, pela convivência e amizade. Em especial, ao Eraldo, Rosana e Rolf que ajudaram-me a colocar a "mão na massa" durante a fase experimental.

Às amigas Rosana e Sandra, pelas valiosas e emergentes contribuições oferecidas, pelo carinho e apoio.

Às estudantes Giselly, Adriane e Rui Sebastian pelo bem-vindo auxílio durante a fase de coletas de dados e pela amizade desenvolvida.

Aos colegas do "mutirão de colheita", Adriana, Sr. Altair, Ana, Denilma, Diogo, Eraldo, Fernando, Fernanda, Sr. Francisco, Geraldo, Marcos, Nelson, Pablo, Sr. Pedro, Rosana, Romeu, Rui Sebastian e Tiago.

Aos técnicos da área experimental, do armazenamento, da agronomia, dos bombeiros, da carpintaria, da elétrica, da mecanização, da irrigação, da serralheria, do setor de terraplenagem.

Às minhas amigas Adriana, Fernanda, Denilma, Virgínia e Lutércia, pelos vários incentivos e pela amizade.

Aos meus irmãos, Cláudia, Geraldo, Gilberto e Waldick, e aos meus pais, Nonô e Clarice, que, mesmo de longe, foram sólidos apoios em momentos difíceis.

Ao meu namorado Rui Sebastian, que em muitos momentos estendeu sua mão para me segurar na luta; agradeço pela ajuda em todas as fases de execução do experimento, pelo estímulo, pelo companheirismo e pela paciência e carinho.

Especialmente, agradeço a Deus, nosso Criador, que além de me proporcionar mais essa oportunidade, deu-me coragem e saúde para percorrer esse caminho de desenvolvimento.

## **BIOGRAFIA**

ALESSANDRA ASSUNÇÃO ALVES DE BRITO, filha de Osvaldo Alves de Brito e Clarice Alves de Assunção, nasceu na cidade de Ipatinga, Minas Gerais, em vinte e seis de dezembro de 1973.

Iniciou o curso de Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Viçosa graduando-se em 1997.

Em 1998, iniciou o Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, na área de Construções Rurais e Ambiente, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa.

## CONTEÚDO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE QUADROS.....	x
DEFINIÇÃO DE TERMOS USADOS.....	xi
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Necessidade, campo de interesse e justificativa para o estudo.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Justificativa.....	2
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Sistemas e desempenho.....	4
2.2. Usuários.....	7
2.3. Agentes ambientais relevantes.....	12
2.3.1. Radiação solar.....	13
2.3.2. Temperatura e umidade do ar.....	15
2.3.3. Velocidade do ar.....	16
2.4. Aspectos projetuais.....	17
2.4.1. Forma da edificação.....	17
2.4.2. Orientação.....	18
2.4.3. Materiais componentes.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1. Introdução.....	22
3.2. Local de implantação do modelo.....	22
3.3. Caracterização do modelo.....	23
3.4. Vegetais: usuários do modelo.....	31
3.5 Caracterização climática de Viçosa.....	32
3.6. Metodologia para coleta de dados.....	34
3.6.1. Variáveis ambientais.....	34

3.6.2. Variáveis agronômicas.....	35
3.7. Caracterização das análises dos dados obtidos.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1. Avaliação do sistema testado.....	40
4.1.1. Avaliação das soluções arquitetônicas.....	40
4.1.2. Análise funcional do sistema.....	44
4.2. Avaliação das variáveis ambientais.....	45
4.2.1. Temperatura e umidade do ar e temperatura de globo negro.....	45
4.2.2. Velocidade do ar.....	66
4.2.3. Radiação luminosa.....	70
4.3. Avaliação das variáveis agronômicas.....	73
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	78
5.1. Recomendações.....	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Metodologia de projeto usando o conceito de desempenho. ....	6
Figura 2 - Relação entre a forma da cobertura da casa de vegetação e a luminosidade interior. ....	18
Figura 3 - O efeito estufa em casas de vegetação. ....	20
Figura 4 - Localização e relevo da área experimental. ....	23
Figura 5 - posicionamento das casas de vegetação testadas. ....	24
Figura 6 - Vista lateral da casa de vegetação. ....	24
Figura 7 - Detalhe do encaixe e fixação da estrutura metálica feita no pilar central. ....	25
Figura 8 - Corte da casa de vegetação com lanternim (2 módulos). ....	25
Figura 9 - Corte da casa de vegetação sem lanternim (2 módulos). ....	26
Figura 10 - Colocação da lona plástica na casa de vegetação s/ lanternim. ....	28
Figura 11 - Detalhe da fixação dos componentes da cobertura c/ lanternim. ....	28
Figura 12 - Fechamento da abertura frontal da cobertura com lanternim. ....	29
Figura 13 - Posicionamento dos canteiros e linhas de irrigação. ....	30
Figura 14 - Insolação e pluviosidade para Viçosa, MG, 1961-1990.....	33
Figura 15 - Temperaturas (°C) do ar para Viçosa, MG, 1961-1990.....	33
Figura 16 - Umidade relativa (%) para Viçosa, MG, 1961-1990.....	33
Figura 17 - Posições para registro das variáveis ambientais.....	35
Figura 18 - Carta solar para a latitude de Viçosa, MG.....	37
Figura 19 - Projeções de sombras no interior da casa de vegetação S, vista do talude.....	41
Figura 20 - Proximidade do tratamento T do talude.....	41
Figura 21 - Proximidade do tratamento S do talude.....	42
Figura 22 - Fluxo de ar através de conjunto de árvores.....	42
Figura 23 - Temperaturas de bulbo seco do ar - sol descoberto - coleta: 0,30 m do solo - 1ª fase experimental.....	46
Figura 24 - Temperaturas de bulbo seco do ar - sol descoberto - coleta: 2,00 m do solo - 1ª fase experimental. ....	47

Figura 25 - Temperaturas de bulbo seco do ar - sol descoberto - coleta: 0,30 m do solo - 2ª fase experimental. ....	
Figura 26 - Temperaturas de bulbo seco do ar - sol descoberto - coleta: 0,30 m do solo - 1ª fase experimental - Ciclo de 24 horas. ....	49
Figura 27 - Umidade relativa do ar - sol descoberto - coleta: 0,30 m do solo 1ª fase experimental.....	50
Figura 28 - Umidade relativa do ar - sol descoberto - coleta: 0,30 m do solo 1ª fase experimental - Ciclo de 24 horas. ....	52
Figura 29 - Temperaturas de globo negro - sol descoberto - coleta: 0,30 m do solo - 1ª fase experimental. ....	53
Figura 30 - Temperaturas de globo negro - sol descoberto - coleta: 2,00 m do solo - 1ª fase experimental. ....	54
Figura 31 - Temperaturas de globo negro - sol descoberto – coleta: 0,30 m do solo - 2ª fase experimental. ....	55
Figura 32 - Temperaturas de globo negro - sol descoberto – coleta: 0,30 m do solo - 1ª fase experimental - Ciclo de 24 horas. ....	56
Figura 33 - Temperaturas de bulbo seco do ar - sol encoberto - coleta: 0,30 m do solo - 1ª fase experimental. ....	57
Figura 34 - Temperaturas de bulbo seco do ar - sol encoberto - coleta: 2,00 m do solo - 1ª fase experimental. ....	58
Figura 35 - Temperaturas de bulbo seco do ar - sol encoberto - coleta: 0,30 m do solo - 2ª fase experimental. ....	59
Figura 36 - Temperaturas de bulbo seco do ar - sol encoberto - coleta: 0,30 m do solo - 1ª fase experimental - Ciclo de 24 horas.....	59
Figura 37 - Umidade relativa do ar - sol encoberto - coleta: 0,30 m do solo 1ª fase experimental. ....	60
Figura 38 - Umidade relativa do ar - sol encoberto - coleta: 0,30 m do solo 1ª fase experimental - Ciclo de 24 horas. ....	62
Figura 39 - Temperaturas de globo negro - sol encoberto - coleta: 0,30 m do solo - 1ª fase experimental. ....	63
Figura 40 - Temperaturas de globo negro - sol encoberto - coleta: 2,00 m do solo - 1ª fase experimental. ....	63
Figura 41 - Temperaturas de globo negro - sol encoberto - coleta: 0,30 m do solo - 2ª fase experimental. ....	64
Figura 42 - Temperaturas de globo negro - sol encoberto - coleta: 0,30 m do solo - 1ª fase experimental - Ciclo de 24 horas. ....	65
Figura 43 - Fluxos de vento observados na primeira fase experimental. ....	68
Figura 44 - Fluxos de vento observados na segunda fase experimental.....	69
Figura 45 - Incidência média de radiação luminosa a 0,30m do solo na primeira fase experimental. ....	71
Figura 46 - Incidência média de radiação luminosa a 0,30m do solo na segunda fase experimental. ....	72
Figura 47 - Caules das amostras colhidas na segunda fase experimental.....	76

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modelos de formas de coberturas de casas de vegetação mais conhecidos e suas principais características.....	17
Quadro 2 - Percentual médio de sombreamento e bloqueio à ventilação dos materiais de fechamento: telas e lonas plásticas.....	27
Quadro 3 - Adubação aplicada em cada casa de vegetação.....	32
Quadro 4 - Valores médios de variáveis agronômicas.....	75

## DEFINIÇÕES DE TERMOS USADOS

**Usuário:** pessoa, animal ou objeto para o qual a edificação é destinada.

**Conforto:** bem-estar sensitivo-material percebido pelo usuário típico de uma edificação, decorrente da combinação adequada das variáveis físicas intervenientes no processo de trocas de energia com o corpo.

**Desempenho:** no sentido de comportamento em uso, serve para caracterizar o fato de que um produto deve apresentar certas propriedades que o capacitem a cumprir sua(s) função(ões), quando sujeito a certas ações de uso e ambientais.

**Elementos:** produtos para parte da edificação, destinados a cumprir um conjunto amplo de funções, atendendo a uma ou mais necessidades; exemplo: a cobertura da casa de vegetação.

**Componentes:** produtos correspondentes a partes dos elementos da edificação, destinados a cumprir individualmente funções específicas.

**Necessidades dos usuários:** exposições qualitativas dos objetivos que a edificação deve cumprir para a realização normal das atividades pelos usuários típicos.

**Requisitos dos usuários:** enunciados qualitativos relacionados aos níveis de desempenho a serem atendidos numa edificação submetida a certas condições ambientais.

**Agentes ambientais:** variáveis do ambiente físico e institucional que

influem sobre a edificação e seus usuários, descritas em princípio, apenas qualitativamente; caracterizam os fenômenos ou entes de origem interna ou externa que podem influir no desempenho da parte constituinte. Para caracterizá-los é necessário definir, genericamente, o possível cenário da edificação.

**Condições de exposição:** descrições quantitativas das ações atuantes, prováveis de acontecer para o ambiente físico-institucional onde se localizará a edificação, durante a vida útil pressuposta.

**Requisitos de desempenho:** definições quantitativas das características que uma parte constituinte deve apresentar, para as condições de exposição de um determinado local, a fim de atender às necessidades dos usuários.

**Crítérios de desempenho:** parâmetros relacionados à manutenção dos níveis de desempenho da edificação, necessários à realização normal das atividades dos usuários; devem ser entendidos como parâmetros padrões de aceitabilidade, que permitem julgar se uma opção atende ou não a um objeto de comportamento em uso.

**Propriedades em uso:** características apresentadas por uma edificação, ou parte constituinte, quando submetida a um determinado conjunto de condições ambientais; relacionam-se com o comportamento em uso e não, simplesmente, aos aspectos físicos dos materiais constituintes. São definidas através da fixação de variáveis de controle de qualidade para as alternativas propostas.

**Métodos de ensaio:** procedimentos que procuram simular o comportamento real de partes constituintes de uma edificação. São empregados, portanto, para a medição das variáveis de controle de qualidade das soluções físicas propostas.

**Atributos de desempenho:** expressões do real comportamento de um produto de construção ou de uma edificação; consistem na aplicação dos métodos de ensaio para desempenho em um sistema edificação, ou parte constituinte, avaliando o seu nível de desempenho por meio da valoração das propriedades em uso.

**Iluminamento:** fluxo luminoso (lux) de um lúmen (lm) incidente e uniformemente distribuído na direção normal de uma unidade de área plana, ou seja, é luz atingindo uma superfície. Unidade: lux (lx).

**Eficácia luminosa:** relação que expressa o rendimento da quantidade de luz emitida por uma fonte e a quantidade de energia necessária para gerar essa luz.

## RESUMO

BRITO, Alessandra Assunção Alves de, M.S. Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2000. **Casa de vegetação com diferentes coberturas: desempenho em condições de verão.** Professor orientador: Fernando da Costa Baêta. Professores Conselheiros: Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá e Hermínia Emília Pietro Martinez.

Na busca de soluções para propiciar sistemas de produção para vegetais de interesse comercial, uma das formas encontradas está em usar casas de vegetação, que permitem manter algum ou total controle sobre as condições de exposição impostas pelos agentes ambientais. Observa-se em regiões quentes, ou em época de verão, o aquecimento no interior dessas edificações acima das necessidades do vegetal, o que compromete a produção comercial ao promover colheitas em épocas não previstas e/ou de qualidade inferior. Considerando-se que na arquitetura das casas de vegetação a cobertura exerce grande influência na admissão de radiação solar direta para o seu interior, saber projetar este componente arquitetônico é fundamental para que se possa garantir o desempenho ambiental que satisfaça às necessidades para o desenvolvimento do vegetal. Nesse sentido, o interesse desse trabalho centrou-se no estudo de soluções de fechamento da cobertura para casas de vegetação sob condições de verão, testadas com o usuário alface. A pesquisa objetivou examinar as condições ambientais de quatro protótipos, iguais em concepção e geometria arquitetônica e diferentes nas soluções dos componentes de fechamento da cobertura, e avaliar o desempenho deles na produção de alface em períodos de verão. Procurou-se identificar uma

alternativa eficiente para solucionar o desconforto dos vegetais e a redução da qualidade da produção. Para fins de avaliação de desempenho ambiental, foram considerados quatro tratamentos de cobertura: (T) testemunha, somente com lona plástica; (L) lona plástica e componente de ventilação (lanternim); (LS) lona plástica sob tela de sombreamento, associado a componente de ventilação (lanternim); e, (S) lona plástica sob tela de sombreamento. O experimento de campo compreendeu duas fases distintas de plantio de alface (variedade Regina) no solo: na primeira, os dados foram coletados de três em três dias, a cada duas horas, de 5 às 20 horas, compreendendo nove dias de observações, sendo a 1<sup>a</sup>, a 5<sup>a</sup> e a 9<sup>a</sup> coletas em um ciclo de 24 horas; na segunda, os dados foram coletados de quatro em quatro dias, a cada três horas, de 6 às 18 horas, compreendendo sete dias de observações. Durante as fases experimentais, foram feitas coletas manuais sistemáticas de dados, dentro e fora das casas de vegetação, das variáveis ambientais temperatura de bulbo seco (Tbs), umidade relativa (UR) e velocidade do ar, temperatura de globo negro (Tgn) e iluminamento. Ao final de 32 dias de cultivo, as amostras foram colhidas e registradas as variáveis agrônômicas diâmetro e peso das plantas, número, peso, matéria seca e umidade das folhas, comprimento e peso do caule e número de brotações. Como pressupostamente esperado, pode-se afirmar que as casas de vegetação sombreadas apresentaram melhor desempenho ambiental, comparativamente às não-sombreadas, e proporcionaram um ambiente mais confortável ao desenvolvimento da cultura da alface no verão. Entre os tratamentos de igual sombreamento, não foi percebida diferença significativa no uso do lanternim, cujo desempenho pode ter sido afetado pela porosidade do material de fechamento lateral das casas de vegetação. O agente ambiental que mais influenciou o comportamento das casas de vegetação no período de verão foi a quantidade de radiação direta que atingiu o seu interior. Uma alternativa eficiente para adequar o uso da casa de vegetação testada por RODRIGUES (1997) à produção de alface em condições de verão é a colocação de tela de sombreamento sobre a cobertura. As alfaces colhidas nas casas de vegetação sombreadas foram classificadas de qualidade superior para o consumo e a comercialização no período de verão quando comparadas às colhidas nas casas de vegetação não-sombreadas.

## ABSTRACT

BRITO, Alessandra Assunção Alves de, M.S Universidade Federal de Viçosa, September 2000. **Greenhouses with Different Coverings: Performance on Summer Conditions**. Adviser: Fernando da Costa Baêta. Committee Members: Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá and Hermínia Emília Pietro Martinez.

Searching solutions for propitiating production systems for vegetables of trade interest, one way is the use of greenhouses. It allows to keep some or total control upon uncovered conditions forced by environmental agents. It can be observed on summer season or in warm regions the heating inside these buildings over the vegetable requirement which compromises the trade production when it forwards harvests in unexpected seasons and/or an inferior quality. Considering that the covering carries out big influence in the greenhouses architecture in admission of straight solar radiation for its interior. It is fundamental to have the knowledge for projecting this architectonic compound to guarantee the environment performance satisfying the necessities for the growth of the vegetable. The interest of that work had concentrated in the study of solutions for the closing of the covering for greenhouses under Summer conditions, experimented with the lettuce usuary. The research purposed to investigate the environment conditions of four prototypes with the same conception and the same architectonic geometry and different in solutions of the closing compounds of covering and evaluate that performance in lettuce production on Summer seasons. It had tried to identify an efficient alternative to solve the uncomfortable of the vegetables and reducing the quality of production. Four covering treatments were considerate

for the evaluation of the environmental performance: (T) testifier, with only plastic canvas;(C) plastic canvas and ventilation compound (an overture on the roof); (CS) plastic canvas under shading screen, with a ventilation compound(an overture on the roof) associated; and (S) plastic canvas under shading screen. The field experiment contained two distinct phases of lettuce plantation (Regina variety) in the soil: the first, the fifth and the ninth collects at a 24 hours cycle; At second the data were collected every 4 days, every 3 hours, from 6 a.m. to 6 p.m., containing 7 days of remarks. During the experimental phases, systematical handmade collects of data were done within and outside greenhouses, the dry bulb environmental variables temperature (DBT), relative humidity (RH) and air velocity, the black bulb temperature (BBT) and illumination. The samples were collected after 32 days of culture and agronomic variables were recorded: diameter and weight of the plants, the number, weight, dry matter and humidity of leaves, the length and weight of the stem and number of buddings. It can be declared, as expected, that shaded greenhouses presented a best environment performance than the unshaded greenhouses, and provided a more comfortable environment for the growth of lettuce culture on Summer. It wasn't detected a significant difference in the application of ventilation compound (an overture on the roof) among the treatments of equal shading, whom the performance could have been affected by porosity of the lateral closing material in greenhouses. The environment agent that more influenced the behavior of greenhouses was the straight radiation amount that reached its interior. An efficient alternative to adapt the use of greenhouses experimented by RODRIGUES (1997) for the lettuce production on Summer conditions is the use of shading screen over covering. The lettuces picked in shaded greenhouses were classified as superior quality for the consumption and trading on Summer season than lettuces picked in unshaded greenhouses.

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Necessidade, campo de interesse e justificativa para o estudo**

Com a finalidade de atender às exigências ambientais dos vegetais, promovendo condições propícias a um melhor cultivo e desenvolvimento, surgiram, ao longo do tempo, casas de vegetação com soluções arquitetônicas diversas, cada qual com o intuito de vencer as adversidades climáticas locais.

Observa-se, no entanto, em regiões quentes, ou em época de verão, o aquecimento no interior dessas edificações acima das necessidades do vegetal, o que compromete a produção comercial ao promover colheitas em épocas não previstas e/ou de qualidade inferior. Muitas vezes, a solução encontrada para esse problema é o uso de mecanismos artificiais de climatização, solução de custo elevado, principalmente para o pequeno produtor ou para aquele que está se iniciando no ramo da produção de vegetais em ambientes protegidos.

Com vistas à produção de espaços construídos para garantir condições ambientais adequadas para os usuários típicos destas edificações, ou seja, os vegetais, sem recorrer a meios artificiais de acondicionamento ambiental, percebe-se que uma necessidade refere-se à realização de estudos que tratem do processo de projeto para casas de vegetação. Nesse sentido, cabe gerar subsídios que permitam a elaboração dessas edificações de forma a realizarem com eficiência suas funções, especialmente quanto à mitigação dos efeitos

negativos das condições a que ficam sujeitas.

## **1.2. Objetivos**

De modo geral, o presente trabalho pretende estabelecer bases para a produção e implantação de casas de vegetação em regiões quentes, ou em períodos de verão, as quais agreguem como valor intrínseco o atendimento das necessidades ambientais dos vegetais, utilizando-se princípios básicos de acondicionamento natural.

Especificamente, o trabalho pretende:

- examinar as condições ambientais em quatro casas de vegetação, iguais em concepção e geometria arquitetônica e diferentes nas soluções dos componentes de fechamento da cobertura, avaliando-se o desempenho na produção de alface em períodos de verão;
- identificar as características do ambiente construído, casa de vegetação, que apresentem as melhores condições ambientais para o atendimento das necessidades da alface, em cultivos sob condições de exposição semelhantes às da região de Viçosa, no período de verão, com o uso de acondicionamento ambiental natural; e
- identificar em casas de vegetação uma cobertura eficiente para solucionar o problema do aquecimento acima do necessário ao cultivo durante os períodos de verão, assim como verificar a influência do aquecimento na produção de alface.

## **1.3. Justificativa**

Em fase das características peculiares às casas de vegetação, à difusão de seu uso entre os produtores rurais e ao rápido avanço de inovações no acondicionamento ambiental artificial, percebe-se a necessidade de se desenvolver soluções que permitam o acesso dos produtores rurais ao uso desse tipo de edificação, de forma racional e eficiente.

Apesar de diferentes contextos ambientais ocorrerem dentro da edificação, em virtude das condições de exposição e do local de implantação das casas de vegetação, o trabalho se justifica pelo fato de que configuradas de maneira adequada, essas edificações podem agregar conforto ambiental e

desempenho na produção de vegetais. Além disso, esses ambientes diferenciados podem permitir ao produtores empregar estratégias de comercialização, podendo a cultura permanecer por mais ou menos tempo dentro da casa de vegetação.

Dessas considerações e da avaliação da eficiência de diferentes coberturas, o presente trabalho se norteia, ainda, para a definição e identificação do ambiente construído, casa de vegetação, que apresente melhor desempenho de cobertura na produção de vegetais, neste caso a alface, e especialmente quanto ao modo de pensar o processo de projeto dessas edificações.

Quanto ao processo de projeto de casas de vegetação, torna-se importante aliar o conhecimento das necessidades dos vegetais cultivados às condições de exposição físico-ambientais do local de implantação, influentes na manutenção dos níveis de desempenho da edificação. A partir do cruzamento das informações sobre o usuário e as condições de exposição, podem-se traçar critérios de desempenho que a edificação deve atingir para permitir a realização normal das atividades dos usuários.

De acordo com as necessidades ambientais para o cultivo da alface e das condições de exposição da região de Viçosa, pressupostamente as variáveis ambientais que exercem maior influência no desempenho das casas de vegetação no período de verão são a radiação e a ventilação. Assim, no período experimental do presente trabalho, foram testadas quatro casas de vegetação tipo arco. Os tratamentos diferenciaram-se apenas na composição da cobertura, sendo: (T) testemunha, fechamento com lona plástica; (L) lanternim e lona plástica; e (LS) lanternim, lona plástica e sombreamento; (S) lona plástica e sombreamento. Seguindo-se uma sistemática preestabelecida, no interior e exterior das casas de vegetação foram coletados os dados ambientais: temperatura, umidade e velocidade do ar, temperatura de globo negro e iluminamento. Ao final de cada fase de plantio da alface, foram avaliadas as características agronômicas das plantas de cada tratamento. Estas características corresponderam às respostas dos usuários (alface) e serviram de suporte para a avaliação do desempenho da edificação.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Sistemas e desempenho**

Analisar o comportamento ambiental de uma edificação requer a consideração dos efeitos dos fenômenos ambientais naturais, do microclima na edificação e da vizinhança, e suas influências no pleno desenvolvimento das atividades dos usuários aos quais a edificação se destina. Para tal, é imprescindível a noção dos conceitos de sistema e desempenho.

Para TIBIRIÇÁ (1997), adotar um modo de pensar no qual há maior interesse em considerar coisas e objetos em conjunto, ao invés de considerá-los em separado, significa direcionar o pensamento para sistema. Para o autor, um sistema pode ser conceituado como sendo 'um conjunto estruturado de atividades ligadas entre si, as quais podem ser descritas em função de propriedades como hierarquia, comunicação e controle'. O modo sistêmico de pensar aplicado à resolução de problemas pode ser definido como abordagem de sistemas. Para Calmon, citado por TIBIRIÇÁ (1997), no uso da abordagem de sistemas é indispensável examinar e organizar as idéias acerca do problema.

De acordo com ORNSTEIN e ROMERÓ (1992) e TIBIRIÇÁ (1997), a abordagem de desempenho na produção do ambiente construído já vem sendo utilizada com o objetivo de garantir a satisfação das necessidades dos usuários, sejam eles seres humanos, animais ou objetos para os quais o ambiente é construído. TIBIRIÇÁ (1997) afirma ainda que, metodologicamente, a aplicação desse conceito ao edifício envolve a definição das condições

qualitativas e quantitativas que devem ser atendidas. A Figura 1 mostra uma forma de abordar desempenho na qual inevitavelmente é agregado tratamento de sistemas à análise ou produção do ambiente construído. A terminologia associada encontra-se no capítulo anterior.

Depreende-se, então, que a eficiência da edificação resulta do seu desempenho, sendo alcançada pelo atendimento das exigências dos usuários sob o contexto em que está inserida. Trata-se, portanto, de um processo que, como um todo, requer ser abordado como sistema, conjugando às exigências de ordem físico-ambiental as socioculturais.

Assim, no presente trabalho, a análise das condições de exposição ambiental é conduzida de acordo com a metodologia da Figura 1. Para tal, é imprescindível a definição das condições qualitativas e quantitativas que devem ser atendidas (bloco superior da Figura 1) e dos métodos de avaliação que permitam verificar se determinada edificação, ou parte constituinte, atende aos requisitos e critérios de desempenho fixados (bloco inferior da Figura 1), (TIBIRIÇÁ, 1997).

De acordo com ORNSTEIN e ROMERÓ (1992), visando ao desenvolvimento de um ensaio técnico, as necessidades dos usuários são transformadas em grandezas mensuráveis sob condições de exposição conhecidas e são definidos os critérios de desempenho com a aplicação de determinados métodos de avaliação.

Então, faz-se necessário o conhecimento das necessidades dos usuários típicos da edificação em estudo (alface em casa de vegetação), dos agentes ambientais relevantes, dos aspectos arquitetônicos típicos dessa edificação e das condições de exposição a que estará submetida, para que possam ser definidos os critérios de desempenho, parâmetros relacionados à manutenção dos níveis de desempenho da edificação, necessários à realização normal das atividades dos usuários (TIBIRIÇÁ, 1997).

Vale ainda ressaltar que, consegue-se agregar valor à edificação quando sua eficiência é alcançada, ou seja, quando as necessidades dos usuários são efetivamente atendidas. De acordo com TIBIRIÇÁ (1997), o ganho de valor pode ocorrer ao se melhorar a utilidade de alguma coisa sem alterar o custo, ao se manter a mesma utilidade pelo menor custo, ou ao se combinar utilidade melhorada com decréscimo no custo.

Dessa forma, entende-se que ao solucionar problemas de ordem físico-

ambiental, que interferem no normal desenvolvimento das atividades dos usuários de uma edificação, contribui-se com um ganho de desempenho e, conseqüentemente, de valor para o edifício.

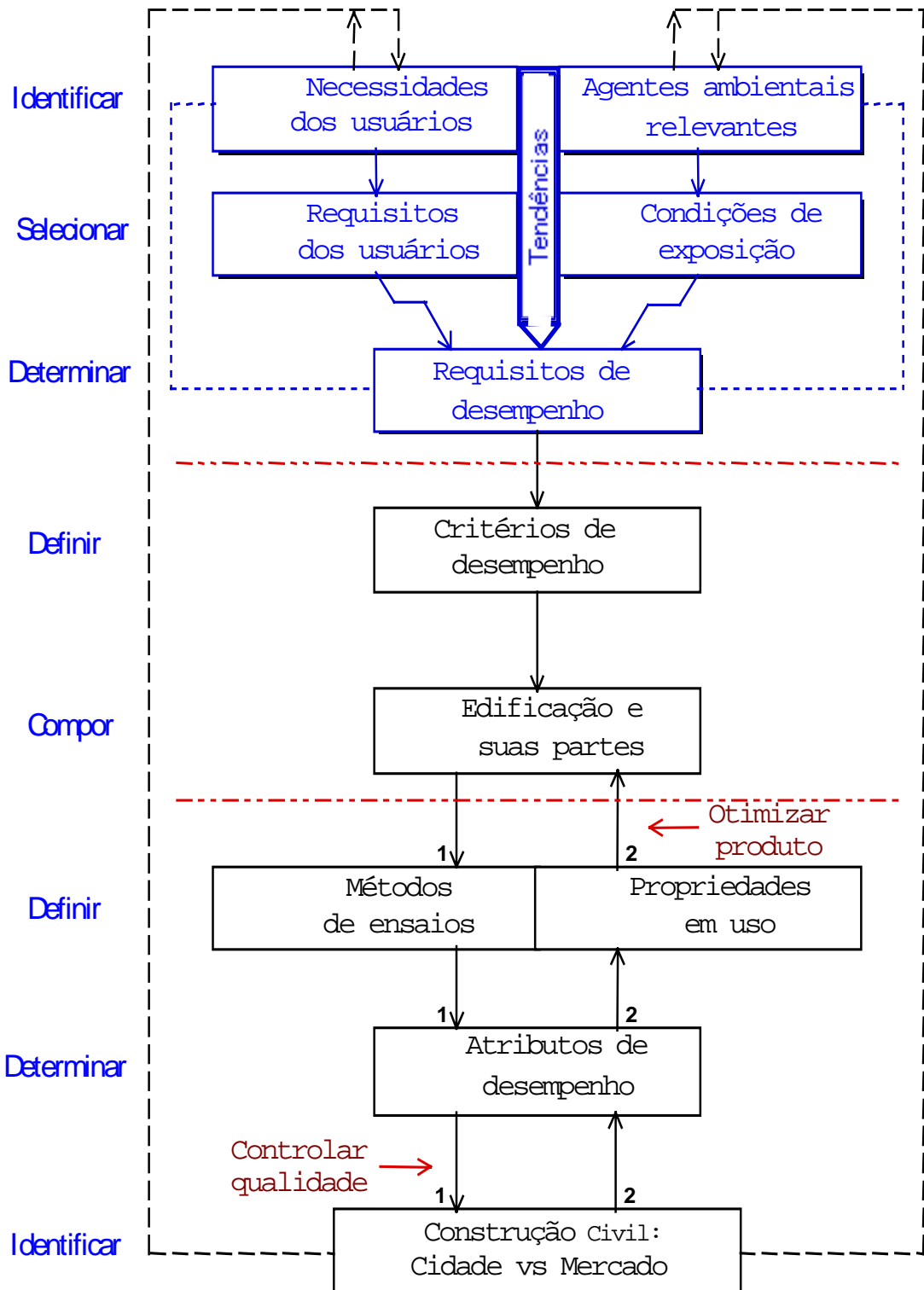


Figura 1 - Metodologia de projeto usando o conceito de desempenho (Tibiriçá, citado por TIBIRIÇÁ, 1997).

## 2.2. Usuários

Os vegetais, usuários típicos do objeto de estudo deste trabalho, demandam exigências químicas e físico-ambientais do meio envolvente construído no qual são cultivados. Portanto, é essencial saber as atividades e a forma pela qual os vegetais extraem e usam os recursos do meio para o seu desenvolvimento. O conhecimento e a atenção projetuais a essas exigências permitem estabelecer as condições para que os vegetais realizem seus processos de desenvolvimento, para maior eficiência produtiva e econômica em qualquer época do ano.

De acordo com FELIPPE (1986a), o desenvolvimento de uma planta é caracterizado pelo crescimento e por mudanças de forma no corpo, as quais ocorrem por meio de padrões sucessivos de diferenciação e morfogênese. O crescimento é definido como um aumento em tamanho, peso ou volume, ou seja, engloba todas as mudanças quantitativas que ocorrem durante a vida do vegetal. A diferenciação refere-se a todas as diferenças qualitativas que aparecem entre células, tecidos e órgãos durante o crescimento. A morfogênese é a produção e evolução das formas e o arranjo das estruturas dos organismos vegetais.

O desenvolvimento vegetativo das plantas se realiza respondendo aos ambientes aéreo e subterrâneo. Algumas das características desses ambientes como água, radiação, temperatura, luz, minerais e CO<sub>2</sub>, limitam o potencial de crescimento que as plantas têm.

A água é o principal constituinte das células vegetais e, segundo WIEN (1997), chega a corresponder a 96% das folhas da alface. Para REICHARDT (1979), a água possui uma série de características que a tornam meio fundamental para a manifestação de todos os fenômenos físicos, químicos e biológicos essenciais para o desenvolvimento dos vegetais:

- é o meio para a difusão de solutos nas células;
- possui alta capacidade calorífica, funcionando, em consequência disso, como um regulador da temperatura;
- é fundamental na sustentação dos tecidos vegetais, devido à sua incompressibilidade; e
- é o solvente para a maioria das reações bioquímicas.

Nas plantas em crescimento normal, existe um contínuo transporte de nutrientes minerais e produtos orgânicos da fotossíntese, desde a raiz até as

folhas, utilizando-se a água como meio.

FELIPPE (1986a) expõe que as características ambientais água, radiação, temperatura e CO<sub>2</sub> estão intrinsecamente relacionadas aos processos de fotossíntese e respiração, sendo responsáveis pela transformação de energia luminosa em energia química e pela produção de compostos orgânicos.

As exigências de água e minerais das culturas vegetais podem ser atendidas através de irrigações e adubações, em cultivos no solo, ou através da solução nutritiva em cultivos hidropônicos. O fornecimento de radiação e temperatura, de acordo com as exigências dos vegetais, é condicionado pela sazonalidade climática. Todos são fatores relevantes no estudo do comportamento dos usuários como resposta ao desempenho das casas de vegetação.

Quanto à radiação, conforme OMETTO (1981), os vegetais realizam a fotossíntese principalmente dentro da faixa de radiação do espectro percebido pelo olho humano (400 a 700nm), sendo o comportamento fotossintético da planta diferente em cada ponto dessa faixa, chamada também de radiação fotossinteticamente ativa (PAR). É nessa região do espectro que os cloroplastos absorvem a radiação, iniciando o processo de fotossíntese.

De acordo com o mesmo autor, para que o processo fotossintético seja desencadeado, é necessário que a energia radiante seja absorvida pela clorofila e, ou, por outros pigmentos acessórios, localizados nos cloroplastos, em quantidade suficiente para afetar a estabilidade química das moléculas envolvidas no processo.

Na realidade, em várias plantas a fotossíntese chega à saturação com valores bem abaixo da radiação que ocorre durante o dia. Nesse caso, a fotossíntese passa a ser limitada pela concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, visto que radiação deixa de ser o fator limitante.

Segundo FELIPPE (1986b), uma das respostas das plantas à radiação é o aumento da taxa de respiração: a planta iluminada respira mais que a planta sombreada, e esta, por ter restrições de radiação direta, torna-se mais eficiente na realização da fotossíntese, iniciando o processo em menor quantidade de radiação se comparada à planta iluminada.

Conforme o mesmo autor, uma outra reação de plantas sombreadas é a eliminação de células entre a epiderme e o mesófilo nas folhas, o que faz

com que a folha fique mais fina, acelerando o processo da fotossíntese por tornar os pigmentos mais fáceis de serem atingidos. Adicionalmente, um outro fator referente ao comportamento das folhas iluminadas e sombreadas são os cloroplastos: nas plantas iluminadas eles são verticais e em maior número e em plantas sombreadas são dispostos horizontalmente e em menor número.

Ao contrário dos seres humanos e da maioria dos animais, os vegetais são incapazes de manter suas células à temperatura constante, ou seja, não possuem mecanismos de termorregulação. No entanto, eles suportam maior amplitude da energia do meio, apesar de serem também susceptíveis a valores mínimos e máximos.

Segundo OMETTO (1981), o valor mínimo de energia admissível ao meio para determinada planta estabelece nesta uma paralisação do processo de autoprodução de alimento (fotossíntese) e condiciona o metabolismo a um valor mínimo vital. Acima desse valor mínimo, a energia do meio é utilizada nos processos metabólicos da planta. Essa energia condiciona a aceleração dos processos vitais, de um valor mínimo até um valor ótimo, decrescendo a sua atividade até o limite superior de energia do meio. Quando a energia do meio alcança um valor elevado, ocorre a perda de água pela planta, por intermédio do processo de transpiração, em velocidade maior que a de captação e transporte do sistema radicular até as folhas. Essa situação é responsável pelo fechamento estomático que restringe as perdas de água, com conseqüente queda da razão fotossintética.

Uma observação importante é que em um meio de alta energia radiante ocorre a aceleração dos processos bioquímicos e há antecipação dos estágios de desenvolvimento das plantas, se comparado a um meio de baixa energia. Portanto, o ciclo de desenvolvimento da planta é condicionado pela energia do meio (expressa pela temperatura do ar) desde que outras exigências sejam plenamente atendidas, tais como a umidade e o teor de nutrientes no solo.

Os vegetais apresentam diferentes respostas às condições estressantes impostas por alta ou por baixa temperatura; cada espécie possui temperaturas limites superior e inferior. No presente trabalho, interessa o conhecimento das condições ótimas ao desenvolvimento da planta e das respostas aos estresses, principalmente aos de altas temperaturas, extremamente difícil de ser determinado devido à sua associação ao estresse

hídrico (REICHARDT, 1979).

Dentre outras respostas específicas de cada cultura, as mais comuns ao estresse por altas temperaturas são: mudança no ângulo das folhas, que reduz a absorção e aumenta a reflexão de radiação; redução na área das folhas, acompanhada por alongamento e estreitamento das folhas; e queda das folhas.

No caso da presente pesquisa, é necessário que a cultura usuária das casas de vegetação apresente resultados detectáveis durante o período de experimentação. Segundo WIEN (1997), a alface é considerada a cultura-padrão para se checar as condições de crescimento em câmaras ambientais, por possuir um ciclo relativamente curto de desenvolvimento e ser muito sensível ao ambiente.

A alface (*Lactuca sativa L.*) pertence à família Compositae. Trata-se de uma planta tipicamente folhosa, consumida “in natura” na sua fase vegetativa. De acordo com Zink, citado por VAZQUEZ (1986), o ciclo de desenvolvimento da alface divide-se em duas fases: vegetativa e reprodutiva, que são influenciadas por vários fatores climáticos. Durante a fase vegetativa, a planta possui caule curto, de até 15cm de comprimento, ao redor do qual nascem as folhas, formando-se uma roseta. Esta fase encerra-se quando a cabeça estiver completamente desenvolvida. Na seqüência, inicia-se a fase reprodutiva, na qual o caule sofre alongamento e se ramifica, e cada uma das ramificações forma uma inflorescência.

Em regiões quentes ou em época de verão, se a alface é exposta a temperaturas elevadas durante o crescimento vegetativo, ela passa rapidamente para a fase reprodutiva, ocorrendo o estiolamento, ou seja, o alongamento do caule e, posteriormente, o surgimento da inflorescência, o que desvaloriza a produção comercial ao se realizarem colheitas antecipadas e de qualidade inferior.

Bensink, citado por WIEN (1997), em estudos da morfologia da cabeça da alface tipo manteiga, mostrou que o decréscimo da razão comprimento/largura da folha é um indicativo da tendência de formação de cabeça da planta. Apontou que a forma da folha é bastante influenciada pelas condições ambientais nas quais a planta está crescendo. Sob pouca luz, as folhas tendem a ser longas e estreitas. Quando os níveis de luz aumentam, suas formas tornam-se progressivamente largas, com reduzida razão

comprimento/largura. Adicionalmente, cabe observar que a radiação luminosa influi na temperatura, ocorrendo aumento da largura da folha em altas temperaturas e condição de muita luz, e estreitamento das folhas se as altas temperaturas ocorrerem sob condição de pouca luz.

De acordo com JIE e KONG (1998), em experimentos realizados com a cultura da alface em ambiente com temperatura entre 25°C e 39°C, a máxima taxa de fotossíntese da cultura foi verificada em quantidade de radiação em torno de 240W.m<sup>-2</sup>.

Além dos efeitos na morfologia da planta, a luz e a temperatura são os maiores determinantes da sua taxa de crescimento. Quando não existem outros fatores inibidores do crescimento, a produtividade da alface estará diretamente relacionada com a radiação incidente. Em uma série de experimentos conduzidos em solução nutritiva na primavera e no outono, em estufa de vidro no Arizona, Glenn, citado por WIEN (1997), observou que o tempo necessário para produzir uma cabeça de alface pesando 120g diminuiu quando a radiação solar incidente aumentou.

Para obter grandes produções de alface é necessário que as condições climáticas permitam que as plantas tenham rápido crescimento inicial. WIEN (1997) diz que quanto mais cedo as plantas conseguirem cobrir o solo, mais rápido elas poderão usar a radiação incidente para o crescimento, e, que em culturas de crescimento no campo, o menor espaçamento e emprego de transplantes é melhor que a semeadura direta, por adiantar o tempo de completa interceptação de luz.

Para PANDURO (1986), em estudos conduzidos no Estado de São Paulo, a alface transplantada teve rendimento de 24,9% maior que a alface de semeadura direta, sob 45% de luminosidade. O mesmo autor, em estudos realizados de março a julho, para verificar a influência de diferentes intensidades de energia radiante (100%, 60% e 45%) sobre o desenvolvimento e a produção de cultivares de alface em dois sistemas de produção, direta e transplantada, concluiu que quanto ao florescimento, as plantas de alface cultivadas sob telados de 60% e 45% de luminosidade retardaram o início do florescimento em até 30 dias em relação às plantas de alface cultivadas com 100% de luz.

WIEN (1997) relata que, em condições de campo, a resposta aos aumentos nos níveis de luminosidade pode ser afetada pelos efeitos adversos

de aumento de temperatura ou redução da quantidade de água das plantas nessas culturas. Apesar de a temperatura ser um fator estimulante dos processos fisiológicos que ocorrem em todos os órgãos da planta, quando está muito elevada provoca retardamento no crescimento das plantas da alface, uma vez que há, em outros processos fisiológicos, um consumo exagerado das substâncias elaboradas pela fotossíntese.

Como já comentado, todas as plantas possuem o desenvolvimento ótimo em determinadas faixas de temperaturas. Várias faixas de temperatura têm sido estabelecidas por pesquisadores. Por exemplo, Lorenz e Maynard, citados por WIEN (1997), dizem que as temperaturas consideradas ótimas para o crescimento da alface estão na média de 18°C, podendo variar entre 7 e 24°C.

Segundo SGANZERLA (1997), as temperaturas ótimas para a alface dependem do estágio de desenvolvimento da cultura: para a germinação de 15 a 20°C, para o desenvolvimento de 14 a 18°C durante o dia e de 5 a 20°C durante a noite, e, ainda, que estes valores de temperatura devem ser associados a valores de umidade relativa do ar entre 60 e 70%.

### **2.3. Agentes ambientais relevantes**

Os agentes ambientais podem interferir no desempenho da edificação ou parte constituinte, e devem ser identificados e descritos, em princípio, de forma qualitativa (TIBIRIÇÁ, 1997).

Os agentes ambientais como radiação solar, temperatura e umidade do ar, ventilação e precipitação estão em constante interação com os vegetais. Para o desenvolvimento vegetal, há limites para cada cultura, sendo alguns agentes imprescindíveis e outros uma ameaça. Para se evitar danos à produção durante o período de verão em regiões chuvosas, é necessário a proteção ao impacto mecânico exercido pelas chuvas sobre os vegetais, principalmente em se tratando de olerícolas, que não possuem boa resistência a esse tipo de impacto. Poucas culturas resistem a uma chuva de granizo, que pode acabar em instantes com uma lavoura. Dos agentes ambientais anteriormente descritos, pressupõe-se que a radiação solar e as condições de ar (temperatura, umidade e velocidade), têm intrínseca ligação com a aceleração ou o retardamento dos estágios de desenvolvimento dos vegetais.

### 2.3.1. Radiação solar

A radiação solar é a principal fonte de energia do planeta, pois é fonte de calor e de luz, sendo muito importante no estudo do comportamento ambiental e, particularmente, nos processos de desenvolvimento vegetal.

A radiação emitida pelo Sol, ao penetrar na atmosfera, é espalhada para outras direções além daquela de incidência. A parcela que atinge diretamente a superfície terrestre é chamada de radiação direta e sua intensidade depende, conforme LAMBERTS *et al.* (1997), da altitude solar e do ângulo de incidência dos raios solares em relação à superfície receptora; a outra parcela de energia radiante, vinda das demais direções da atmosfera atingindo indiretamente a superfície, é chamada de radiação difusa.

A radiação solar incidente na superfície terrestre é composta por um espectro que possui ondas eletromagnéticas energeticamente diferentes. A interação de ondas eletromagnéticas com toda a matéria existente na superfície se verifica de acordo com as propriedades da onda e da estrutura molecular da matéria (OMETTO, 1981).

No espectro de radiação solar, a faixa compreendida de 220 a 400nm é chamada de faixa do ultravioleta, a de 400 a 780nm é luz visível e a partir de 780nm encontra-se a faixa do infravermelho. O espectro visível compreende os comprimentos de onda que impressionam o olho humano, dando a sensação de visibilidade, ou seja, cada banda nesta faixa dá a sensação de uma cor distinta. Em 400nm a visão é sensibilizada para a cor violeta e, à medida que as bandas se aproximam de 780nm, seguem-se o azul, o verde, o amarelo, o laranja e o vermelho. A banda do vermelho é a última do espectro visível.

Tendo-se em vista o desenvolvimento da pesquisa, um aspecto merecedor de atenção refere-se ao modo como ocorre a absorção de radiação pela planta ao longo da faixa do espectro visível. Segundo OMETTO (1981), os comprimentos de onda na faixa do azul (400 a 450nm) são os de maior eficiência fotossintética em todo o espectro de radiação solar, tendo o seu pico máximo ao redor de 429nm. O intervalo de 450 a 600nm compreende o final do azul, a banda do verde, do amarelo e o início do laranja; nessa faixa a absorção é muito baixa, a reflexão é elevada, e encontra-se a maior irradiância de todo o espectro solar (energia por comprimento de onda). Na faixa que engloba o final do laranja e o vermelho (600 a 780nm), existe uma banda de

absorção para efeito fotossintético, tendo seu pico máximo em redor de 660nm; no entanto, a eficiência fotossintética do comprimento de onda de 660nm é igual a 60% da eficiência máxima dada pelo comprimento de onda de 429nm. Acima de 700nm existe uma pequena absorção de caráter fotossintético dentro da faixa que vai de 700 até 800nm. Acima de 800nm, a planta apresenta algumas faixas que são absorvidas a fim de manter o equilíbrio energético interno e manter constantes, ou em condições ideais, as reações bioquímicas e o comportamento enzimático dentro da planta.

De acordo com o mesmo autor, a faixa de 450 a 600nm possui elevada energia; a absorção nessa faixa acarretaria demasiado aumento de energia interna do sistema foliar, ocasionando a aceleração de uma série de reações bioquímicas, com conseqüente desequilíbrio enzimático e excessivas trocas de água e CO<sub>2</sub> com o meio, incompatíveis com o processo biológico.

Com relação ao espectro solar descrito, é importante lembrar que os comportamentos das plantas não são generalizados: cada variedade de cada espécie tem suas características próprias.

A planta também possui foto-receptores sensíveis ao ambiente de luz, que emitem respostas biológicas, pela diferença entre o vermelho (600 a 700nm) e o vermelho distante (700 a 750nm). Conforme propuseram Borthwick e Hendricks, citados por FELIPPE (1986b), as plantas possuem um pigmento foto-reversível vermelho-vermelho distante, denominado fitocromo, que possui duas formas: uma que absorve luz vermelha (F<sub>V</sub>) e é fisiologicamente inativa, e outra que absorve radiação no espectro do vermelho distante (F<sub>VD</sub>) e é fisiologicamente ativa. Quando F<sub>V</sub> absorve luz vermelha, converte-se em F<sub>VD</sub>; quando F<sub>VD</sub> absorve o vermelho distante, converte-se em F<sub>V</sub>. De modo geral, conforme FELIPPE (1986b), uma planta que tem no balanço de fitocromos maior quantidade de vermelho distante que de vermelho, praticamente suas atividades biológicas são cessadas, em razão de os fitocromos vermelhos distantes serem convertidos em fitocromos vermelhos, biologicamente inativos.

De acordo com o mesmo autor, luz branca e luz solar têm o efeito de luz vermelha, embora tal radiação contenha comprimentos de onda absorvidos pelas duas formas do fitocromo. A razão principal para isso é a maior eficiência energética da reação que transforma F<sub>V</sub> em F<sub>VD</sub>.

Em situação de sombreamento mútuo e alta densidade de plantio, ocorrerá maior incidência do vermelho distante, porque com o bloqueio tanto da

radiação direta como da difusa, a planta transmite radiação de ondas longas para as outras, ou seja, radiação na faixa do vermelho distante.

### **2.3.2. Temperatura e umidade do ar**

Sendo a temperatura um indicador do estado energético de uma substância, as variações térmicas devem representar fielmente as variações da chegada de energia solar no sistema terra-atmosfera, mesmo sob a influência de combinações de fatores que atuam na temperatura do sistema (VIANELLO e ALVES, 1991).

Apesar das diversas combinações de fatores de influência, a variação da temperatura na superfície terrestre resulta basicamente dos fluxos das grandes massas de ar e da diferente recepção da radiação do sol de local para local (LAMBERTS *et al.*, 1997). A quantidade de radiação solar recebida por uma determinada superfície terrestre vai depender da topografia, do tipo de solo, da vegetação, da latitude e da altitude do local.

O ar é transparente às ondas eletromagnéticas, razão pela qual as variações na sua temperatura são conseqüências indiretas da ação da radiação solar. A elevação da temperatura do ar se deve ao processo de balanço de energia entre a superfície receptora e a atmosfera e envolve, simultaneamente, os fenômenos de transferência de calor por condução, convecção e radiação. Esse processo resulta, geralmente, numa defasagem de duas horas entre o horário de maior incidência de radiação sobre a superfície e o de maior temperatura do ar (RIVERO, 1985).

Um constituinte atmosférico de destaque no balanço de energia junto à superfície terrestre é o vapor d'água. Sob determinada temperatura, o ar tem a capacidade de conter certa quantidade de vapor d'água: quanto maior a temperatura do ar, maior quantidade de água poderá conter.

A combinação temperatura e umidade responde pela difusão de massa e de calor entre um corpo e o meio envolvente, sendo isto uma das condições determinantes do conforto térmico (COSTA, 1982). De acordo com SGANZERLA (1997), quando a temperatura está acima do limite superior da temperatura ideal, a planta transpira demasiadamente, provocando sensível redução na produção de matéria orgânica. Também, quando a umidade relativa do ar está abaixo do limite ideal, as plantas se desidratam com facilidade; quando está acima desse limite, o desenvolvimento fica igualmente prejudicado

pelo aumento da suscetibilidade a doenças.

### **2.3.3. Velocidade do ar**

As variações de orientação e de velocidade do ar acontecem principalmente pelas diferenças de temperatura entre as massas de ar, provocando o deslocamento da área de maior pressão (ar frio e pesado) para a área de menor pressão (ar quente e leve) (LAMBERTS *et al.*, 1997).

Os ambientes devem ser bem ventilados de modo a atender às exigências higiênicas e térmicas dos usuários, sendo as primeiras de caráter permanente, devendo ser atendidas a qualquer hora e época do ano, e as segundas só interessam quando o microclima interno é insatisfatório, sendo necessária a redução da temperatura (RIVERO, 1985). A ventilação contribui para a redução da temperatura dos ambientes essencialmente através das trocas de energia por convecção; de acordo LAMBERTS *et al.* (1997), o coeficiente de troca por convecção depende da viscosidade e da velocidade do fluido, assim como do tipo de deslocamento do fluido, laminar ou turbulento. O regime turbulento é definido quando o perfil do movimento do fluido é caracterizado por baixas velocidades e o laminar por altas velocidades.

Assim, para se obter maior movimentação de massas de ar no interior dos ambientes existem duas formas: ventilação natural e ventilação artificial. A ventilação natural baseia-se nas pressões distintas originadas pela diferença entre as temperaturas do ar interior e exterior, o que provoca deslocamento de ar da zona de maior para a de menor pressão, e no escalonamento das pressões que se geram no interior dos ambientes como consequência da ação mecânica dos ventos (RIVERO, 1985).

De acordo com COSTA (1982), a ação dos ventos, que não é contínua, ocasiona o escalonamento das pressões no sentido horizontal, no interior das edificações, provocando movimentação do ar, que pode ser intensificada por meio de aberturas dispostas convenientemente. A diferença de pressão se deve a três fatores: à diferença de temperatura entre o ar interno e o externo à edificação, ao tamanho das aberturas de entrada e saída do ar e à diferença de nível entre as aberturas de entrada e saída de ar. Conforme DANTAS (1995), a taxa de movimentação do ar, resultante do termossifão (efeito chaminé), é diretamente proporcional à diferença de pressão e de altura entre as aberturas de entrada e saída de ar.

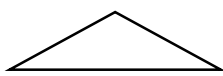

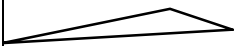
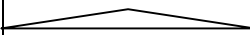



## 2.4. Aspectos projetuais

### 2.4.1. Forma da edificação

Com a finalidade de promover condições ambientais propícias a um melhor cultivo e desenvolvimento das plantas, difundiu-se o uso de casas de vegetação. De acordo com SGANZERLA (1997), ao longo do tempo surgiram diferentes modelos de casas de vegetação com soluções arquitetônicas diversas, cada qual com o intuito de atender às exigências ambientais dos vegetais frente às adversidades climáticas locais.

Os modelos diferem entre si, principalmente com relação à forma da cobertura. No Quadro 1 estão relacionados os modelos mais conhecidos e suas características arquitetônicas.

Quadro 1 - Modelos de formas de coberturas de casas de vegetação mais conhecidos e suas principais características

Modelo	Forma da cobertura	Características
Capela		Alta inclinação das águas da cobertura; bom funcionamento em regiões de altas precipitações pluviométricas; oferece muito atrito ao vento.
Pampeana		Variação da forma da cobertura em arco reduz atrito ao vento; lona plástica colocada em sentido transversal facilita estiramento e reposição.
Bella unión		Inclinação da superfície norte da cobertura é quase perpendicular aos raios mais baixos do sol de inverno; a parte sul da cobertura tem inclinação mais branda, para oferecer menos atrito aos ventos fortes que sopram dessa direção, na região sul do Brasil.
Espanhola		Cobertura quase plana, em estrutura formada de esteios e arame, desenvolvida para regiões de baixas precipitações pluviométricas.
Dente-de-serra		Cobertura eficiente com relação à ventilação, deve ser instalada de modo que a parte semelhante aos dentes fique contrária à maior incidência dos ventos; as diferenças de pressão que se formam nos dentes facilitam a exaustão do ar interior. É pouco eficiente ao aproveitamento da luz solar.
Arco		Forma autoportante, oferece grande resistência ao vento e excelente aproveitamento da luz solar; formato da estrutura permite facilidade de fixação e reposição da lona plástica.
Londrina		Forma semelhante à casa de vegetação espanhola, construída basicamente de esteios e arames; a água penetra em seu interior em locais predeterminados.

Fonte: Adaptado de SGANZERLA (1997).

A forma da cobertura exerce influência direta na penetração zenital da luz solar na edificação. Como pode ser observado na Figura 2, a forma semicircular é a que permite maior passagem da luz, por sempre possibilitar a incidência de raios solares perpendiculares à superfície da cobertura.

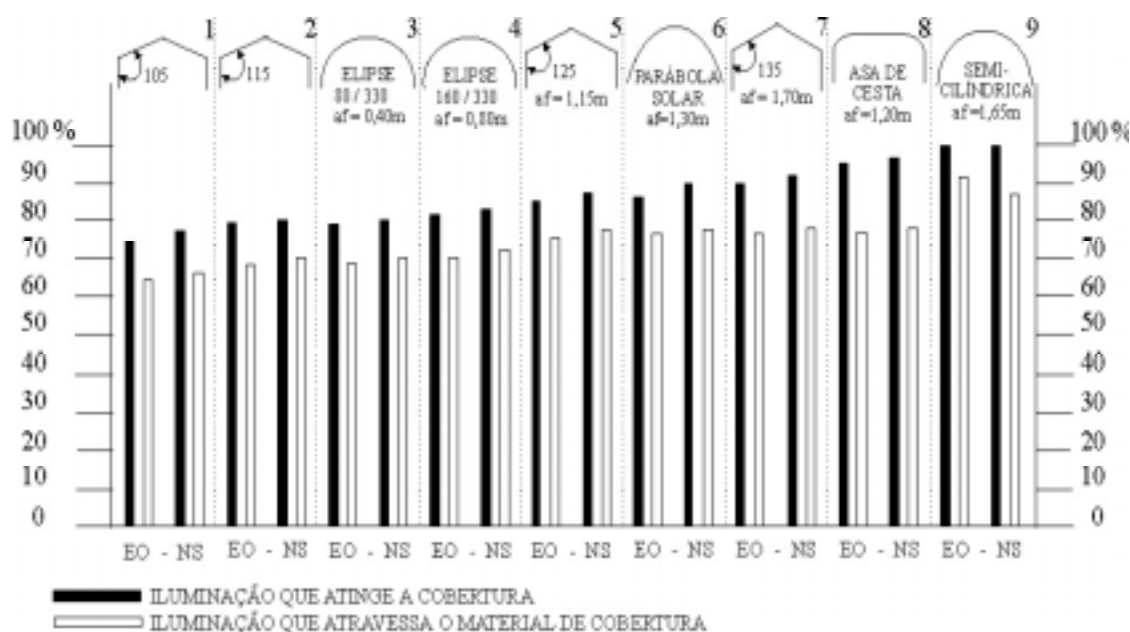


Figura 2 - Relação entre a forma da cobertura da casa de vegetação e a luminosidade interior (Fonte: Nisen, citado por RODRIGUES, 1997).

RODRIGUES (1997) projetou e testou um modelo de casa de vegetação com estrutura da cobertura de forma semicircular e orientação leste-oeste, em Viçosa-MG no período de junho a agosto de 1996. O autor acredita que a orientação dada ao modelo, juntamente com sua dimensão, foram pontos importantes para a homogeneidade da temperatura do ambiente interno.

#### 2.4.2. Orientação

Em pesquisas realizadas por PAIVA (1998) e SGANZERLA (1997), o vento foi o principal agente climático responsável pela danificação das estruturas e pelo rompimento do filme plástico das casas de vegetação. Esse agente climático deve ser o primeiro a ser considerado durante a fase de implantação dessas edificações. Para que estas ofereçam o mínimo de resistência ao vento, não é recomendado que a maior dimensão em planta da casa de vegetação seja orientada perpendicularmente à direção dos ventos

dominantes.

Quanto ao aproveitamento da radiação solar, de acordo com SGANZERLA (1997), o melhor é que longitudinalmente a casa de vegetação seja orientada no sentido leste-oeste. PAIVA (1998) acrescenta que o sentido leste-oeste aumenta em até 20% a temperatura interna da casa de vegetação. Vale ressaltar que na Figura 2, Nisen, citado por RODRIGUES (1997), mostra que a quantidade de luz que atravessa o material da cobertura é maior, na maioria das formas, na orientação norte-sul. Essas controvérsias merecem atenção e estudos que comprovem efetivamente qual é a orientação mais apropriada, ou seja, que adequue o aproveitamento da radiação solar e o aumento da temperatura às características ambientais locais das casas de vegetação.

### **2.4.3. Materiais componentes**

A estrutura da casa de vegetação deve ser resistente, durável e planejada. O exagero no dimensionamento das peças estruturais pode causar um nível de sombreamento indesejável às plantas, o que pode se tornar um efeito negativo para os cultivos realizados em alguns períodos do ano e em locais de altas latitudes, onde se tem baixa incidência de radiação solar (SGANZERLA, 1997).

O principal fenômeno que ocorre dentro da casa de vegetação é o efeito estufa, assim chamado porque é o resultado da acumulação de calor no interior da envolvente, o que ocorre devido ao fato de os materiais de fechamento serem transparentes à radiação solar (ondas curtas) e opacos à radiação de ondas longas emitidas pelo solo, pelas plantas e pela própria estrutura interna da edificação, como ilustrado na Figura 3. Considerando-se a importância desse efeito no processo de condicionamento ambiental, os materiais componentes dos fechamentos têm fundamental importância na constituição das casas de vegetação, principalmente quando se pretende adequar os modelos a diferentes climas.

Usualmente, os fechamentos das casas de vegetação são compostos por lona plástica transparente e tela de sombreamento, combinados de maneiras distintas.

A lona plástica é usada na cobertura e no barrado. De acordo com PAIVA (1998), a espessura, a qualidade da matéria-prima, o processo de

fabricação e os aditivos usados contra a degradação causada pelos raios ultravioletas determinam a vida útil da lona plástica transparente.

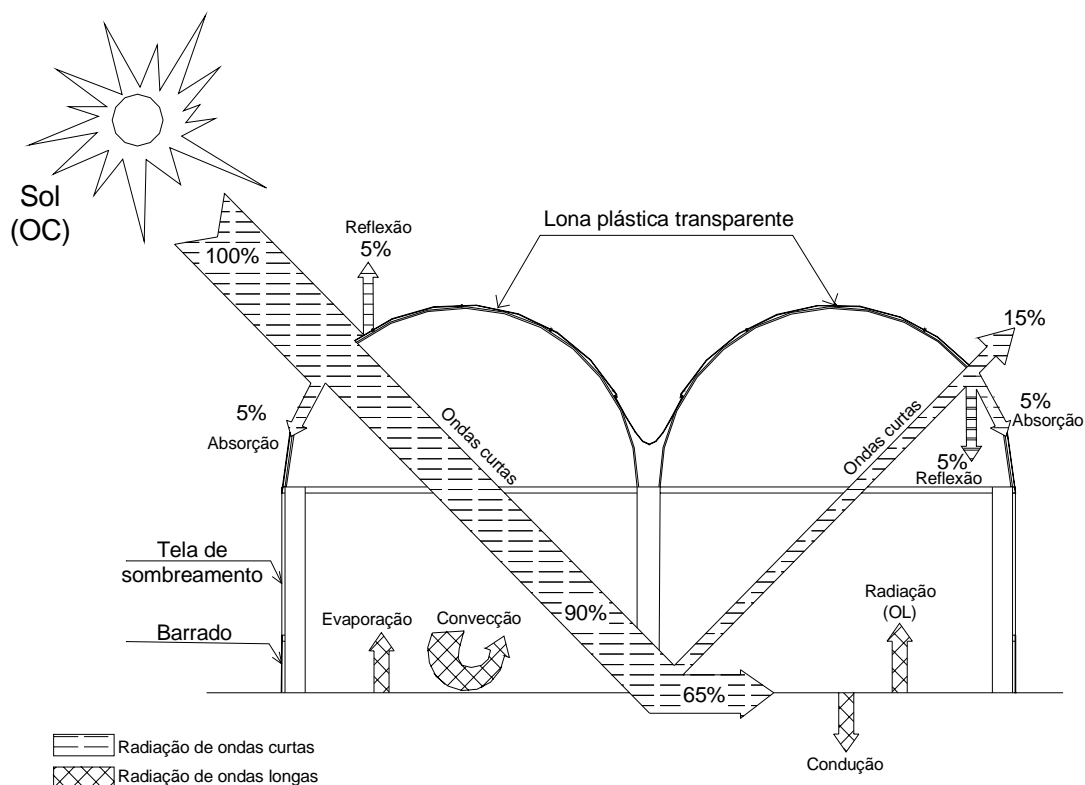


Figura 3 - O efeito estufa em casas de vegetação (Adaptado de RODRIGUES, 1997).

Em regiões quentes, recomenda-se que as laterais da casa de vegetação sejam fechadas com tela de sombreamento, para permitir a saída do ar quente acumulado no seu interior e para diminuir a entrada de insetos, aves e outros animais indesejáveis (PAIVA, 1998, e SGANZERLA, 1997). As telas de sombreamento são produzidas sem emendas e com fatores de sombreamento de 30,50 e 70% (PAIVA, 1998).

RODRIGUES (1997) desenvolveu experimento com casas de vegetação de junho a agosto de 1996, período de inverno, em Viçosa, Minas Gerais. Para o estudo, foram construídas quatro casas de vegetação com características modulares e pré-fabricadas; a cobertura, na forma semicilíndrica (Figura 3), usava como materiais de fechamento: lona plástica de 150 micra (cobertura e barrados) e telas de sombreamento nas janelas laterais. Durante o experimento, foram registradas no interior e no exterior das casas de vegetação as variáveis ambientais (precipitação, temperatura e umidade relativa do ar) e as variáveis agrônômicas (peso da planta, massa de matéria

seca das folhas, teor de umidade, número de folhas e aspecto visual).

A partir dos resultados, o autor chegou às seguintes conclusões: o protótipo mostrou-se estruturalmente resistente e dimensionado de forma a permitir controle natural adequado das condições térmicas ambientais, propiciando o aumento da temperatura média e a diminuição da umidade relativa do ar em seu interior, comparativamente ao ar livre; conseqüentemente, em virtude desse comportamento do ambiente de cultivo, as alfaces produzidas nas casas de vegetação tiveram maior, mais rápido e melhor desenvolvimento e melhores características quantitativas e qualitativas quando comparadas às cultivadas ao ar livre.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Introdução**

A presente pesquisa foi desenvolvida no Setor de Construções Rurais e Ambiência e implementada na Área Experimental de Irrigação e Drenagem, do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, latitude 20°45'Sul, longitude 42°52'Oeste e altitude 657metros.

Para a realização do trabalho, foram utilizadas quatro casas de vegetação, diferentes na constituição dos fechamentos das coberturas: duas já existiam no local e as outras duas foram construídas para o experimento desta pesquisa.

O período experimental, constituído de dois plantios distintos de alface, teve seu início em dezembro de 1999 e seu término em março de 2000, ou seja, durante um verão.

#### **3.2. Local de construção do modelo**

A conformação do relevo da Área Experimental onde se construiu o sistema testado pode ser visualizada na Figura 4.

Na presente pesquisa, considerando-se a possibilidade de somente usar duas das quatro casas projetadas e testadas por RODRIGUES (1997), foi necessário ampliar os dois platôs para a construção de duas novas casas de vegetação. Na Figura 5 estão indicadas as quatro casas de vegetação usadas na presente pesquisa.

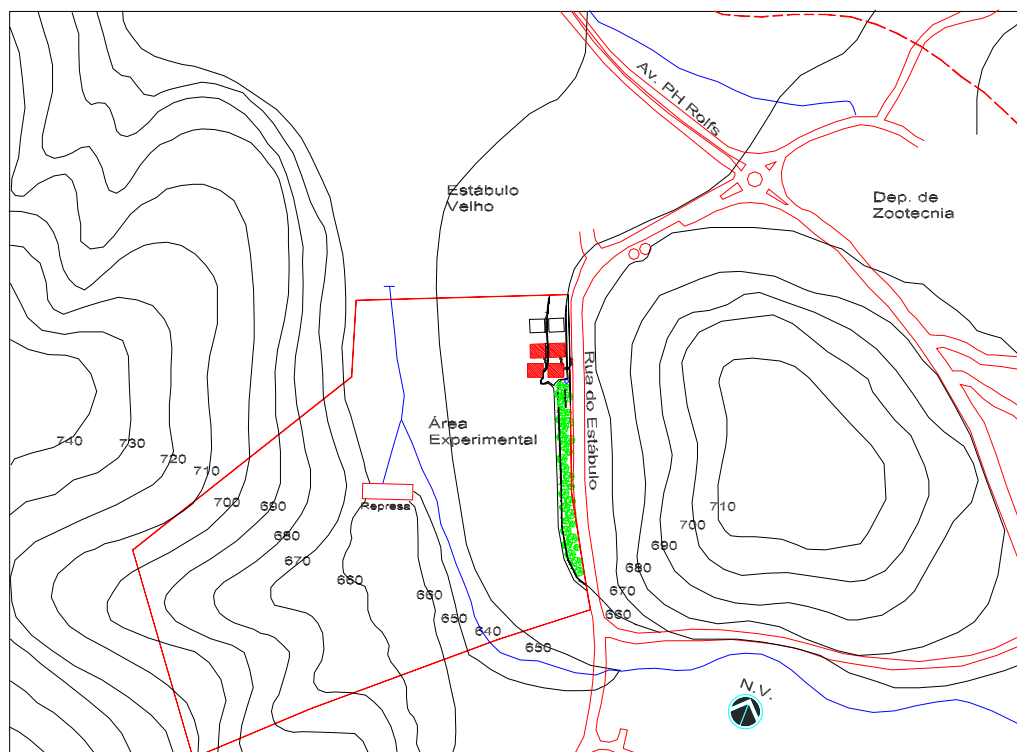


Figura 4 - Localização e relevo da área experimental.

### 3.3. Caracterização do modelo

As quatro casas de vegetação que formaram o sistema tinham as mesmas características modulares e a mesma concepção arquitetônica, porém com diferenças nos procedimentos de execução da obra e nos componentes arquitetônicos, principalmente no que se refere à estrutura e aos fechamentos. O conjunto foi constituído pelos seguintes tratamentos: (T) testemunha, cobertura de lona plástica; (L) cobertura com lanternim e lona plástica; (LS) cobertura com lanternim, lona plástica e tela de sombreamento; e (S) cobertura com lona plástica e tela de sombreamento (v. Figura 5).

Na construção das novas casas de vegetação, em substituição aos pilares de concreto pré-fabricados e à estrutura da cobertura de metalon pré-moldada em serralheria (RODRIGUES, 1997), foram utilizados pilares de eucalipto e estrutura da cobertura em barras de aço de construção montadas no local.

As peças de eucalipto, com diâmetro médio de 0,20m e comprimento de 2,80m, foram alinhadas e posicionadas a cada 2,00m no solo (Figura 6), de modo a garantir os pilares nivelados a 2,00m acima do solo, cuidado imprescindível para a melhor execução da estrutura da cobertura.



Os arcos da estrutura semicircular da cobertura ( $\phi 3,50\text{m}$ ), construídos com barras de aço de  $\phi \frac{1}{2}$ ", tiveram suas extremidades encaixadas nos pilares; as longarinas de travamento dos arcos, também construídas com barras de aço de  $\phi \frac{1}{2}$ ", foram soldadas em posições adequadas à colocação dos fechamentos de cada envoltória, como pode ser visualizado nas Figura 8 e 9.

As barras de aço foram cobertas com mangueira preta ( $\phi \frac{3}{4}$ " ), usada na construção civil, para evitar o rompimento da lona plástica quando da sua colocação.

Preliminarmente ao experimento realizado nesta pesquisa, foram feitos ensaios com alguns dos materiais que poderiam compor os fechamentos da casa de vegetação. Os ensaios visaram definir qual era o comportamento dos materiais com relação à transmissão de luz e a porosidade à ventilação. Para a transmissão de luz, foram testados: telas de sombreamento nas cores branca ( $36\text{furos}/\text{cm}^2$ ), cinza ( $36\text{furos}/\text{cm}^2$ ), preta ( $54\text{furos}/\text{cm}^2$ ) e verde ( $27\text{furos}/\text{cm}^2$ ) e lonas plásticas nas cores azul (150 micra), amarela (100 micra), preta (100 micra), transparente (150 micra) e verde (150 micra).



Figura 7 - Detalhe do encaixe e fixação da estrutura metálica na cavidade feita no pilar central.

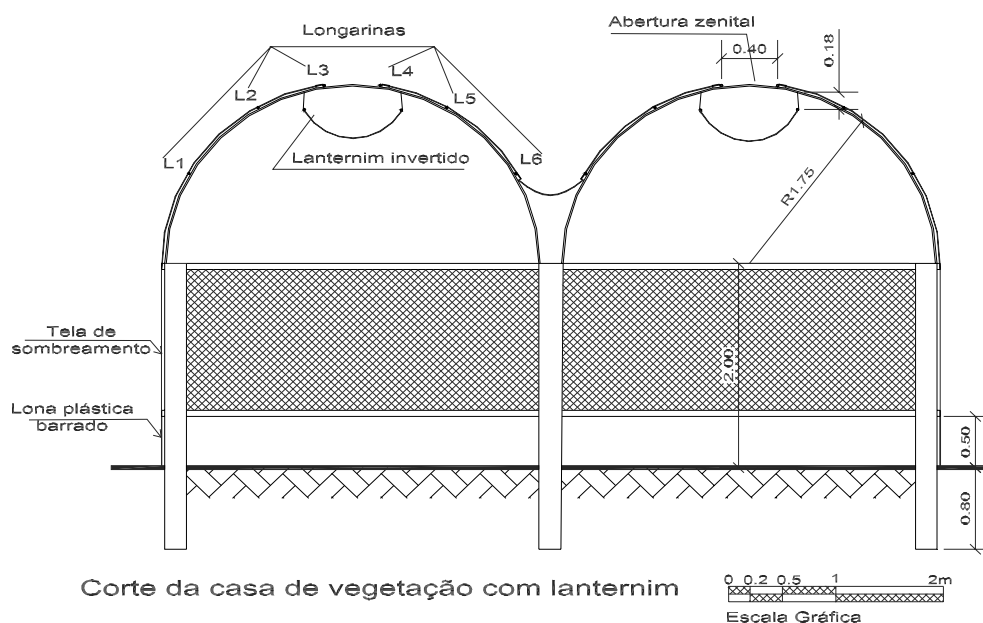


Figura 8 - Corte da casa de vegetação com lanternim (2 módulos).

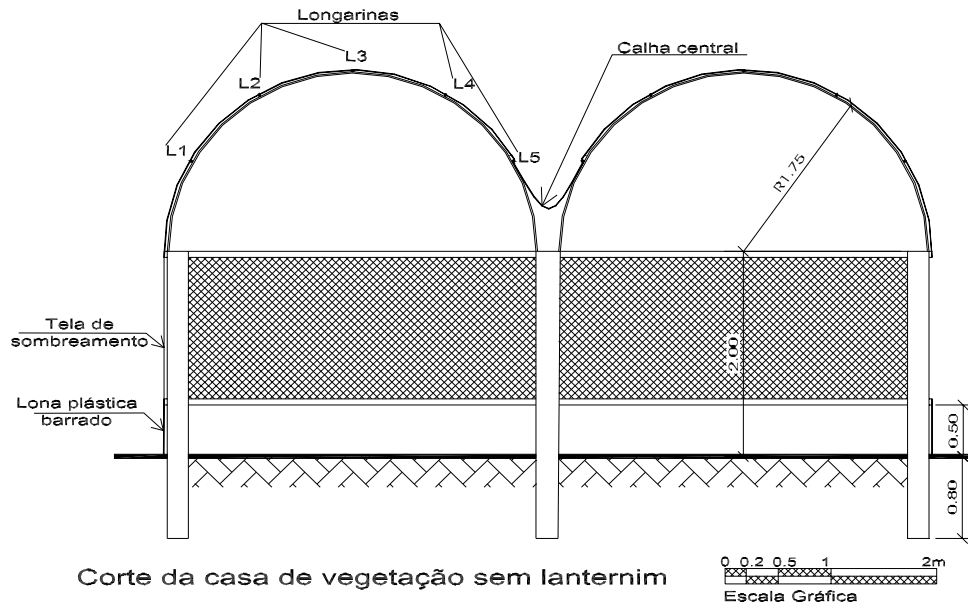


Figura 9 - Corte da casa de vegetação sem lanternim (2 módulos).

Cada material foi fixado em uma moldura quadrada com 15cm de lado. Para os ensaios de transmissão de luz, essa moldura foi posicionada perpendicularmente à direção de incidência dos raios solares com a ajuda de uma haste e de um apoio. As medições foram realizadas em condições de sol descoberto e céu claro com um luxímetro (digital, resolução de 1 lux). As leituras foram realizadas durante três dias seguidos, a cada duas horas, das 8 às 18h. O luxímetro foi posicionado sobre a face superior do material para a leitura da quantidade de luz que atingia essa superfície. Posteriormente foi posicionado a 10cm da face inferior do material e registrada a leitura da quantidade de luz que passou pelo material. Com as duas leituras, pôde-se determinar o fator de sombreamento de cada material; os resultados, apresentados no Quadro 2, são as médias dos percentuais de sombreamento encontrados nos três dias de observações.

Os ensaios de obstrução ao fluxo de ar foram realizados em uma sala totalmente fechada. O fluxo de ar foi gerado por um ventilador de 14" de diâmetro, e a velocidade do ar, medida com um anemômetro de ventoinha (digital, resolução de 0,1m/s). A moldura com cada uma das telas de sombreamento foi posicionada perpendicularmente à direção do fluxo de ar a 0,30m, 0,50m, 0,70m, 0,90m e 1,10m de distância do ventilador. As leituras foram feitas nas superfícies anterior e posterior do material em cada uma dessas distâncias. Com as duas leituras, pôde-se determinar o percentual do fluxo de ar que ao atingir a superfície não ultrapassava o material, ou seja, o

percentual de obstrução ao fluxo de ar exercido. Os resultados, apresentados no Quadro 2, são as médias dos percentuais de obstrução ao fluxo de ar que cada material apresentou nas cinco posições de observação.

Quadro 2 - Percentual médio de sombreamento e bloqueio à ventilação dos materiais de fechamento: telas e lonas plásticas

Material	Percentual médio de sombreamento	Percentual médio de obstrução ao fluxo de ar
Tela branca	11,5	26,0
Tela cinza	27,8	21,0
Tela preta	51,7	42,0
Tela verde	28,3	17,0
Lona plástica azul	77,7	-
Lona plástica amarela	59,7	-
Lona plástica preta	99,8	-
Lona plástica transparente	8,7	-
Lona plástica verde	23,8	-

Fonte: Valores determinados, experimentalmente, pela autora.

A tela preta testada tinha como especificação do fornecedor 60% de sombreamento, as outras não possuíam especificação quanto ao sombreamento. Os resultados obtidos, mostrados no Quadro 2, auxiliaram na especificação dos materiais de fechamento das casas de vegetação, de modo a adequar o ambiente construído às necessidades dos usuários durante o período de experimentação.

Com os resultados obtidos nos ensaios preliminares com os possíveis materiais componentes dos fechamentos, optou-se pela lona plástica transparente, já utilizada com frequência, por apresentar menos bloqueio à passagem de luz e ser mais apropriada no uso da edificação em condições de inverno, conforme RODRIGUES (1997), e tela de sombreamento preta, por apresentar características de sombreamento de acordo com a pesquisa realizada por PANDURO (1986).

A bobina de lona plástica transparente (6,00m de largura, 100m de comprimento e 150 micra de espessura) foi cortada de forma a obter o melhor aproveitamento durante a cobertura das quatro casas de vegetação.

Na colocação dos materiais de fechamento nos elementos estruturais da cobertura, na forma de semicírculos, as laterais da lona plástica foram enroladas em ripas (1,5cmx4,5cm) de comprimento equivalente ao da lateral da casa de vegetação, as quais foram pregadas na parte superior dos pilares da respectiva lateral (2,00m de altura). Na lateral onde se apoiam os elementos

semicirculares, a ripa foi fixada com arame aos pontos de apoio dos arcos com a longarina mais baixa desse lado do semicírculo. A lona foi esticada no sentido das laterais no momento de fixação das ripas. Na Figura 10 é possível visualizar a colocação da lona plástica.



Figura 10 - Colocação da lona plástica na casa de vegetação sem lanternim.

Na colocação do fechamento nas coberturas com lanternim foi feito um corte longitudinal na lona, no ponto mais alto da cobertura, à meia-distância das longarinas L3 e L4; uma ripa foi enrolada em cada uma das laterais resultantes, sendo a lona esticada transversalmente e grampeada. A ripa foi, então, fixada nas longarinas L3 e L4, como ilustra a Figura 11.



Figura 11 - Detalhe da fixação dos componentes da cobertura com lanternim.

Para os fechamentos laterais, foram utilizadas lona plástica e tela de

sombreamento com fator de sombra de 50% e 1,50m de largura. A lona plástica, com a função de evitar respingos da chuva no interior da envoltória, teve uma lateral enrolada a uma ripa de madeira (1,5cmx4,5cm), fixada aos pilares externos da casa de vegetação a uma altura de 0,50m; a outra lateral foi enterrada no solo. A tela de sombreamento foi grampeada na ripa inferior, a 0,50m do solo, e, na ripa superior, a 2,00m do solo. A colocação dessa tela objetivou permitir a ventilação natural e evitar a entrada de insetos e animais indesejáveis.

Nas casas de vegetação com sombreamento, sobre a cobertura foi esticada a tela preta com fator de sombra de 50%, grampeada nas ripas de fixação das lonas plásticas.

No encontro das superfícies geradas pelos elementos semicirculares foi colocada uma calha para escoamento da água da chuva. A calha foi confeccionada com a mesma lona plástica e grampeada às ripas fixadas longitudinalmente, quando da colocação da lona da cobertura.

Nas casas de vegetação que possuíam lanternim, foi colocada uma calha de lona plástica permitindo uma abertura com largura de 10% do vão. Uma abertura de 0,40m foi deixada na cobertura; a calha foi feita com 0,70m de largura, deixando-se um trespasse de 0,15m de cada lado da abertura para evitar a entrada da água da chuva. Para a construção da calha, as bordas laterais da lona foram enroladas e presas a barras de aço de  $\phi$  1/2" e 8,00m de comprimento, amarradas a ganchos de arame galvanizado, pré-fixados aos arcos da estrutura. Na Figura 12 visualiza-se o acabamento frontal da calha, em que a lona foi grampeada na ripa já fixada transversalmente nos pilares quando da colocação da lona na cobertura. A calha foi montada com 2% de inclinação para cada lado a partir do meio e, durante a execução, foram feitos testes de escoamento e os ajustes necessários.



Figura 12 - Fechamento da abertura frontal da cobertura com lanternim.

Na casa de vegetação que possuía lanternim associado a sombreamento sobre a cobertura, a tela de sombreamento foi fixada nas barras de aço com arame pela parte interna do lanternim.

Dentro de cada casa de vegetação foram preparados quatro canteiros com 0,20m de altura, 1,00m de largura e 6,50m de comprimento. Os canteiros foram orientados longitudinalmente e dispostos dois em cada módulo da casa de vegetação, cada um deles com quatro linhas de irrigação e de plantio, conforme mostra a Figura 13.

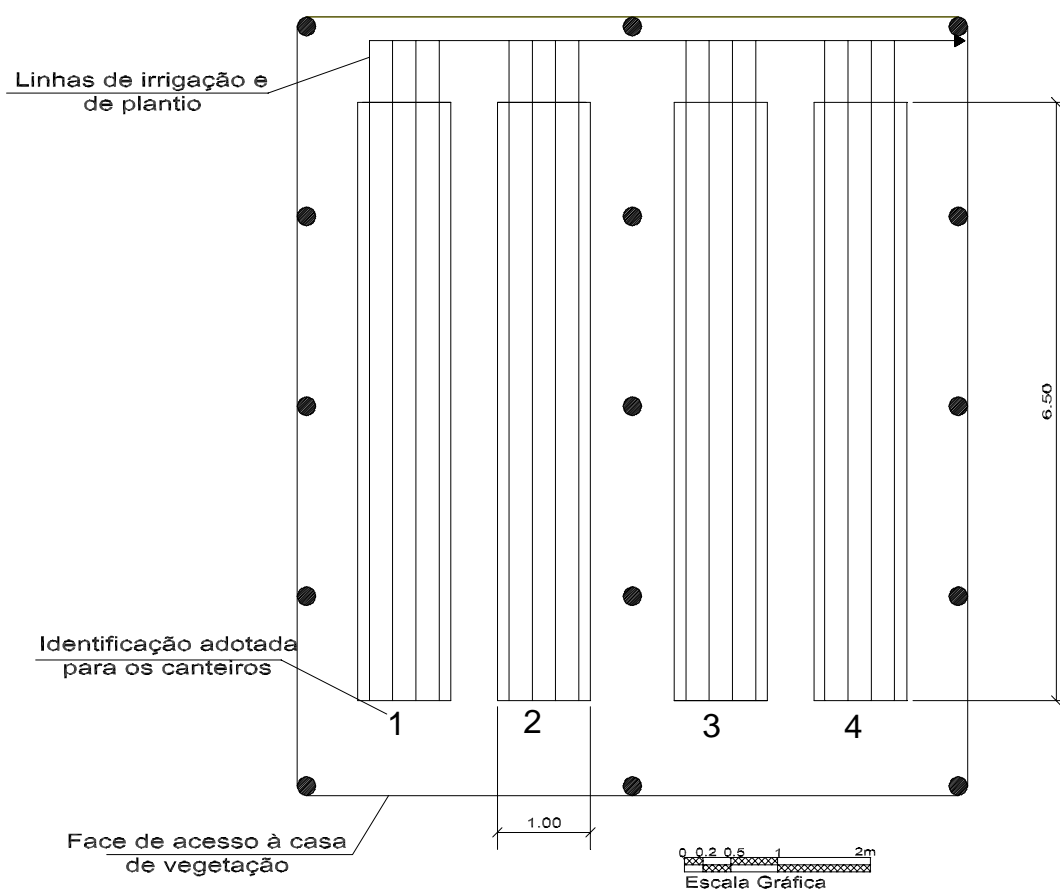


Figura 13 - Posicionamento dos canteiros e linhas de irrigação.

A irrigação foi realizada por meio de tubogotejadores. O sistema foi montado de modo a possibilitar a irrigação das quatro casas de vegetação de duas maneiras: irrigadas conjuntamente ou irrigadas individualmente. Essa última maneira visou facilitar a fertirrigação independente em cada casa de vegetação.

### **3.4. Vegetais usuários do modelo**

Sementes de alface, da variedade Regina, foram semeadas em bandejas de isopor, com 200 células, cheias de substrato agrícola; depois da semeadura foi aplicada uma camada de húmus vegetal sobre as sementes. As bandejas foram alojadas em uma bancada dentro de uma casa de vegetação à parte; sobre a bancada foi fixada uma tela preta de 50% de sombreamento, a uma altura de 0,35m, para minimizar o impacto da água de irrigação sobre as mudas. Foram feitas duas regas por dia para manter o substrato sempre úmido.

O transplântio das mudas para os canteiros foi feito após terem se formado quatro pares de folhas permanentes, o que ocorreu em tempos diferentes nas duas fases experimentais: na primeira foi a 18 dias após a semeadura e na segunda a 26 dias.

As mudas foram transplantadas para os canteiros mantendo-se o espaçamento de 25cm entre plantas, com 25 plantas por linha de plantio, totalizando 100 mudas por canteiro.

Antes de cada transplântio, amostras da composição do solo dos canteiros de cada casa de vegetação foram analisadas para que se pudesse fazer as correções necessárias e estabelecer a quantidade de fertilizante a ser aplicado. Desse modo, em cada fase da experimentação foram feitas fertilizações diferentes, de acordo com os resultados das análises de solo e as recomendações de TRANI e RAIJ (1996) e NAGAI (1998) para a adubação e calagem para o cultivo da alface. A calagem do solo foi calculada pelo método de saturação de bases para elevar a saturação a 80%. Os tipos de adubo e as quantidades aplicadas em cada fase de experimentação estão listados no Quadro 3 .

Os nutrientes foram pesados e aplicados de maneiras diferentes: o calcário, o esterco orgânico e o superfosfato simples foram aplicados a lanço e depois incorporados ao solo dos canteiros; o bórax, o cloreto de potássio e o sulfato de amônio foram aplicados via fertirrigação. O fornecimento dos nutrientes via fertirrigação foi diferente em cada uma das fases: na primeira, foram divididos em três aplicações e, na segunda, em cinco.

Quadro 3 - Adubação aplicada em cada casa de vegetação.

Casa de vegetação	L	T	LS	S
ADubos	Quantidade aplicada (g/m <sup>2</sup> de canteiro)			
1ª fase de experimentação				
Calcário	71,00	73,00	48,00	-
Esterco curtido	2120,00	2120,00	2120,00	2120,00
Bórax	1,92	1,92	1,92	1,92
Cloreto de potássio	23,00	23,00	23,00	27,30
Sulfato de amônio	63,40	63,40	63,40	63,40
Super simples	81,00	81,00	81,00	88,50
2ª fase de experimentação				
Calcário	62,00	65,00	-	21,50
Esterco curtido	1540,00	1540,00	1540,00	2310,00
Bórax	1,92	1,92	1,92	1,92
Cloreto de potássio	16,50	25,00	25,00	25,00
Sulfato de amônio	50,00	50,00	50,00	50,00
Super simples	80,00	80,00	80,00	119,00

Fonte: Valores calculados de acordo com análise do solo de cada tratamento e recomendações de TRANI e RAIJ (1996) e NAGAI (1998).

### 3.5. Caracterização climática de Viçosa

Os agentes ambientais relevantes para esta pesquisa, como comentado no item 2.3, são radiação solar, temperatura e umidade do ar, ventilação e precipitação. Para um determinado local, o conjunto desses agentes e suas combinações durante o ano delinham as condições de exposição a que poderá estar sujeito um determinado ambiente construído. A partir do conhecimento das condições de exposição da região de Viçosa e das necessidades dos usuários, é possível estabelecer os critérios de desempenho ou os parâmetros relacionados à manutenção dos níveis de desempenho da edificação, necessários à realização normal das atividades dos usuários típicos.

Segundo classificação de Kooppen, o clima da região de Viçosa é quente, temperado, chuvoso, com estação seca no inverno e chuvosa no verão.

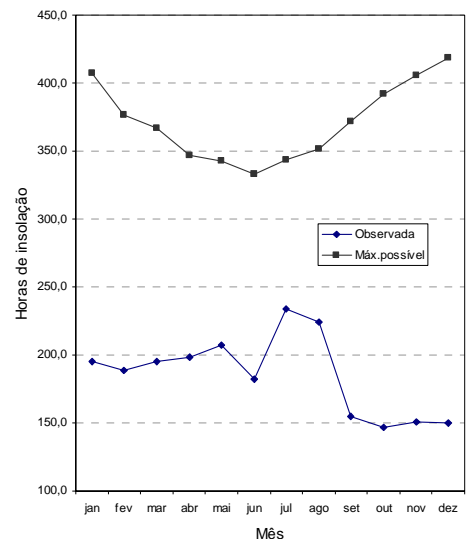
Essas características podem ser observadas nos dados das normais climatológicas para Viçosa. Os dados são de 30 anos de observação e caracterizam as tendências climáticas para a região:

- Insolação e pluviosidade: observa-se na Figura 14(a) que as linhas de insolação máxima possível e de insolação observada têm comportamento bem diferentes. A quantidade de horas de insolação observada em Viçosa eleva-se do mês de fevereiro ao mês de julho; a partir de agosto verifica-se uma queda

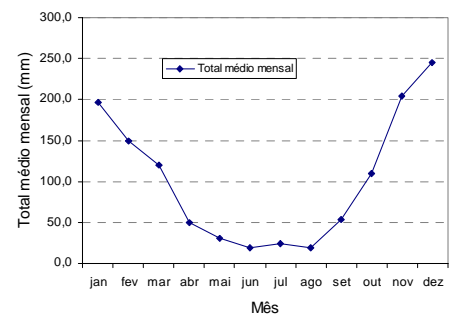
nos níveis de horas de efetiva incidência de radiação solar. A quantidade de horas de insolação está diretamente relacionada com a pluviosidade notada na região (Figura 14b).

- Temperatura: na Figura 15 observa-se que durante o ano, em Viçosa, a temperatura média mensal oscila de 15,4°C (julho) a 22,3°C (fevereiro), a média das máximas oscila de 23,5°C a 30,0°C e a média das mínimas oscila de 10,1°C a 18,1°C, respectivamente nos mesmos meses.

- Umidade: a umidade relativa média mensal em Viçosa oscila entre 84% a 76%, sendo o valor mínimo no mês de setembro e o máximo no mês de junho (Figura 16 ).



(a)



(b)

Figura 14 - Insolação e pluviosidade para Viçosa, MG, de 1961-1990.

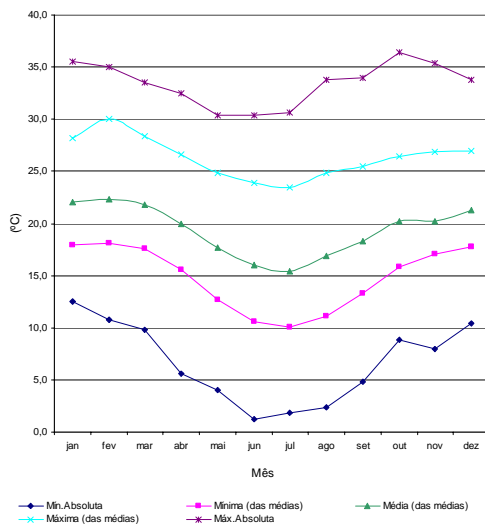


Figura 15 - Temperaturas (°C) do ar para Viçosa, MG, de 1961-1990.

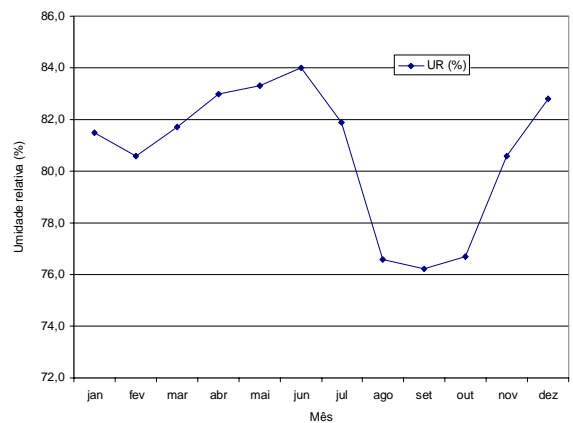


Figura 16 - Umidade relativa do ar (%) para Viçosa, MG, de 1961-1990.

### **3.6. Metodologia para coleta de dados nas duas etapas do experimento**

#### **3.6.1. Variáveis ambientais**

Durante o período experimental, foram registradas, dentro e fora das casas de vegetação, as seguintes variáveis ambientais: temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, temperatura de globo negro e iluminamento. Essas variáveis foram registradas dentro das casas de vegetação seguindo uma malha, com seis pontos, previamente estabelecida, e fora das casas de vegetação em nove pontos vizinhos a elas, como mostra a Figura 17. Nos pontos externos, a temperatura de globo negro foi registrada em dois pontos (Figura 17).

As duas fases experimentais se distinguiram quanto à periodicidade de registro de dados e quanto às alturas de coleta dos dados das variáveis no interior das casas de vegetação. Na primeira fase, os dados das variáveis foram coletados de três em três dias, a cada duas horas, e às alturas de 0,30m e 2,00m acima dos canteiros; na segunda fase, as variáveis foram registradas de quatro em quatro dias e a cada três horas, e somente na altura de 0,30m do solo. Na primeira fase experimental, as temperaturas de globo negro foram registradas somente em dois pontos superiores, o ponto 1 e o ponto 6 (Figura 17).

Os registros foram feitos até que a cultura atingisse o ponto de comercialização. No total, foram feitas observações em nove dias na primeira fase experimental e em sete na segunda.

Na primeira fase experimental, as medições e os registros manuais foram feitos de 6 às 20h, sendo três seqüências de observações (primeira, quinta e nona) realizadas durante um período de 24 horas (0-24h), para que pudesse ser avaliado o comportamento das envoltórias durante o ciclo de um dia completo. Na segunda fase, os registros foram realizados das 6 às 18 horas.

Para registro das variáveis ambientais foram empregados os seguintes instrumentos: termo-higrógrafo (digital, resolução de 0,1°C e 0,1%), anemômetro de ventoinha (digital, resolução de 0,01m/s), termômetro de globo negro (resolução de 1° C) e luxímetro (digital, resolução de 1 lux).

É importante registrar que o luxímetro, equipamento utilizado para medir a quantidade de luz incidente em uma superfície, capta a radiação



de 0,1 grama.

No processo de coleta dos dados agronômicos, foram colhidas dez amostras de cada canteiro e conduzidas à área de registro, onde todo o processo de pesagem, tomada de medidas e desfolhamento foi realizado. Após registrada, cada amostra foi colocada em um saco de papel devidamente identificado. Esse processo foi feito para cada um dos canteiros, individualmente, para que as plantas não perdessem água e, conseqüentemente, o seu formato até o momento de registro dos dados.

Após a quantificação das variáveis de campo, as amostras foram conduzidas ao laboratório e armazenadas em estufa a 70–75° C. Após massa constante, pesaram-se novamente as amostras, obtendo-se MS e TS.

### **3.7. Caracterização das análises dos dados obtidos**

As duas fases experimentais tiveram procedimentos diferentes, o que as tornou independentes em termos de análise de dados. Avaliou-se nestas análises, quali-quantitativamente, o comportamento ambiental de uma mesma arquitetura, composta por quatro tipos diferentes de fechamentos de cobertura. O desempenho das diferentes soluções de cobertura foi avaliado de acordo com o desenvolvimento da cultura da alface, sua usuária típica, e com as condições de exposição a que estavam sujeitas.

Portanto, os vegetais tiveram seu desenvolvimento avaliado em quatro casas de vegetação de igual concepção arquitetônica e dimensão, porém com diferentes composições de fechamentos da cobertura. Dessa forma, nas fases experimentais foram testados os seguintes tratamentos da cobertura (Figura 17):

- (T) casa de vegetação testemunha, com fechamento em lona plástica;
- (L) casa de vegetação com fechamento em lona plástica e com componente de ventilação (lanternim);
- (LS) casa de vegetação com fechamentos em lona plástica e tela de sombreamento, associado a componente de ventilação (lanternim); e
- (S) casa de vegetação com fechamento em lona plástica e tela de sombreamento.

A partir dos dados de iluminação foi montado um banco de dados com gráficos de distribuição de linhas, no caso isoluxes com o programa DataGEOSIS 1.32 Profissional, utilizado na Engenharia de Agrimensura para a

distribuição de curvas de nível através de coordenadas cartesianas. No caso da produção gráfica das isoluxes, as coordenadas de X e Y foram as dos pontos de medição e as coordenadas de Z foram os valores observados no respectivo ponto.

Foram geradas isoluxes para todos os tratamentos em cada horário de coleta, o que constituiu um banco de dados. As isoluxes para cada tratamento foram sobrepostas e montado um mapeamento de cada tratamento correspondente a cada dia de observação, com as isoluxes de todos os horários de coleta do dia. As avaliações qualitativas do agente ambiental radiação luminosa foram feitas considerando-se os mapeamentos elaborados com base nas observações de cobertura do céu e do disco solar no momento das coletas. Foi necessário voltar a atenção para a quantidade de energia solar que atingia o interior das casas de vegetação, principalmente entre 9 e 15h, pelo fato de os raios solares se apresentarem mais próximos ao zênite, ou seja, tratar-se do período do dia em que se deve atentar para os efeitos radiantes incidentes na cobertura. Para enfatizar essa consideração, a área colorida na Figura 18 permitiu identificar as coordenadas solares do período de maiores efeitos radiantes durante a fase experimental.

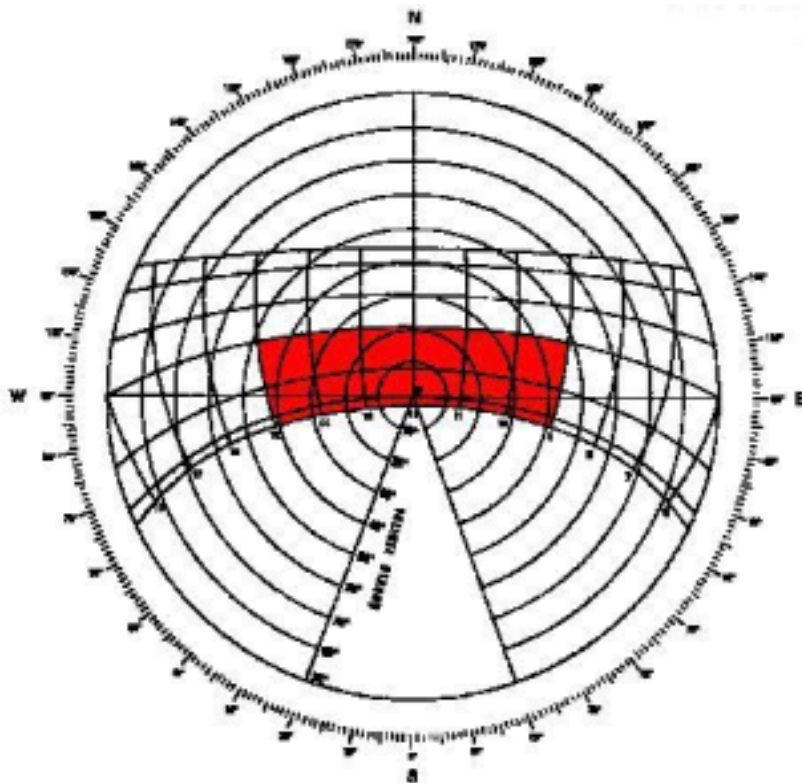


Figura 18 - Carta solar para latitude de Viçosa, MG.

Uma vez que os agentes ambientais, cobertura do céu e exposição do disco solar, afetavam diretamente a quantidade de luz recebida pelas casas de vegetação, os dados de iluminamento foram processados e analisados de acordo com as condições de exposição limites desses agentes, ou seja, distinguindo-se as medições sob sol totalmente coberto e céu com mais de 70% de nuvens, daquelas sob sol totalmente descoberto e até 30% de nuvens no céu. Os valores de iluminamento foram convertidos de lux para  $W.m^{-2}$  utilizando-se o parâmetro de eficiência luminosa para Viçosa, que, nos horários mostrados na Figura 18, foi da ordem de  $115lm.W^{-1}$  (CASSILHAS, 2000). Como normalmente entre 9 e 15h foi percebido que a distribuição de luz dentro das casas de vegetação foi uniforme, obtiveram-se médias do iluminamento a 0,30m do solo, dentro de cada tratamento, nos horários de coleta de cada fase experimental. Os valores de máxima radiação luminosa (sol descoberto) e de mínima (sol encoberto) foram plotados em gráficos que permitiram avaliar a quantidade de luz visível que penetrou nas casas de vegetação nas duas condições limite. A base das discussões dos efeitos do iluminamento para o comportamento das plantas se orienta pelos tratamentos da cobertura, ou seja, na solução de composição de fechamento adotada para cada tratamento, na influência das condições de exposição e no atendimento das necessidades dos usuários.

As médias dos dados de temperatura e umidade relativa do ar e temperatura de globo negro observados em cada tratamento e no exterior foram plotadas em gráficos. Preliminarmente, esses dados foram organizados e tratados de acordo com as observações das condições de cobertura do céu e do disco solar, ou seja, de acordo com as condições de exposição a que as casas de vegetação estavam sujeitas durante a coleta. Para efeito de análise, foram considerados os dados observados sob condições de sol descoberto e abóboda celeste com menos de 30% de nuvens e sob condições de sol encoberto e abóboda celeste com mais de 70% de nuvens.

As avaliações e discussões sobre esses agentes têm por base os resultados dos gráficos relativos aos tratamentos, a influência dos componentes de fechamento da cobertura e o atendimento das necessidades ambientais dos usuários.

Com os dados de ventilação, foi verificada a frequência das velocidades do ar encontradas no interior e exterior dos tratamentos. A partir

daí, foi gerado um diagrama com as direções e predominâncias dos fluxos de ar para cada experimento. Foram avaliados o comportamento e a contribuição da ventilação natural do local no sistema testado.

Os dados agronômicos foram interpretados por meio de análise de variância, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey, a 5% probabilidade.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Avaliação do sistema testado**

#### **4.1.1 Avaliação das soluções arquitetônicas**

##### **4.1.1.1. Orientação e implantação das edificações no terreno**

De acordo com RODRIGUES (1997), em experimentos realizados em duas das casas de vegetação testadas, a orientação leste-oeste magnético facilitou a penetração dos ventos predominantes locais (sentido noroeste-sudeste), principalmente pelo fato de as maiores faces porosas ao ar das edificações estarem voltadas para essa direção. No entanto, durante as fases experimentais da presente pesquisa, percebeu-se que o posicionamento e o distanciamento entre as casas de vegetação geraram um mascaramento do fluxo dos ventos predominantes, fazendo com que algumas casas de vegetação ficassem desfavorecidas quanto ao recebimento desses ventos. Nesse sentido, é recomendável que se avalie o quanto de distanciamento se deve ter entre as casas de vegetação, para que não haja interferência no recebimento da ventilação natural local. Tomando-se como referência o estudo que SGANZERLA (1997) fez para casas de vegetação com altura igual à das casas testadas, essa distância deve ser no mínimo de 6 metros, inclusive para reduzir a interferência na recepção da radiação solar.

Apesar das casas de vegetação testadas não estarem exatamente na orientação leste-oeste verdadeira, como recomendam SGANZERLA (1997) e

PAIVA (1998), durante as fases experimentais a maior influência percebida no recebimento da radiação solar no interior delas deveu-se principalmente ao distanciamento entre cada uma, na implantação, e não à orientação. Provavelmente, devido à forma quase quadrada (7,0mx8,0m) das edificações, os efeitos da orientação não foram percebidos. É desejável que estudos sejam feitos para comprovar qual é a orientação mais adequada à quantidade disponível de radiação solar no verão, ao aumento da temperatura e às características ambientais locais: se a leste-oeste (SGANZERLA, 1997, e PAIVA, 1998), ou se a norte-sul (Nisen, citado por RODRIGUES,1997).

Quanto ao fator luz, ele não foi limitante ao desenvolvimento das alfaces durante o período de experimentação. Observou-se, no entanto, que o distanciamento e a orientação das casas de vegetação favoreceram a projeção de sombras de luz solar direta de umas casas sobre as outras; no decorrer dos experimentos, percebeu-se também que as sombras das casas de vegetação T e L projetaram-se sobre as casas de vegetação LS e S, principalmente no final do dia. Para melhor funcionamento do sistema é recomendado deixar mais espaço entre as casas de vegetação. Na Figura 19 pode-se observar a projeção de sombras no interior da casa de vegetação S.

Por restrições de espaço, duas casas de vegetação, T e S, foram implantadas próximas a um talude com 1,30m de desnível, dele afastadas cerca de 0,90m e 1,50m, respectivamente. Observou-se nos



Figura 19 - Projeções de sombras no interior da casa de vegetação S, vista do talude.



Figura 20 - Proximidade do tratamento T do talude.

canteiros que a região próxima ao talude produziu alfaces menos desenvolvidas do que outras da mesma casa de vegetação. Presume-se que a proximidade da encosta tenha afetado o desenvolvimento por interferir na circulação do ar e na radiação difusa nas laterais voltadas para o talude. Nas Figuras 20 e 21 podem-se visualizar a distância e o desnível associados ao talude junto às casas de vegetação T e S.



Figura 21 - Proximidade do tratamento S do talude.

O microclima do conjunto de árvores localizado ao sul do sistema possivelmente também afetou o desenvolvimento dos vegetais da casa de vegetação S nos dois canteiros próximos ao talude, o que foi percebido pelo atraso no desenvolvimento dos vegetais desses canteiros com relação aos outros (Figura 19). A condição de implantação da casa de vegetação S não favoreceu a entrada do fluxo de ventos, apesar de RIVERO (1985) afirmar que a presença de árvores próximas ao edifício aumenta a velocidade do fluxo de ar e imprime uma direção ascendente no ar ao entrar pelo vão (Figura 22a). No entanto, foi observado no local que, pelo fato de a casa de vegetação S estar em um nível inferior ao das árvores, o fluxo de ar não atingia a totalidade da abertura lateral (Figura 22b).

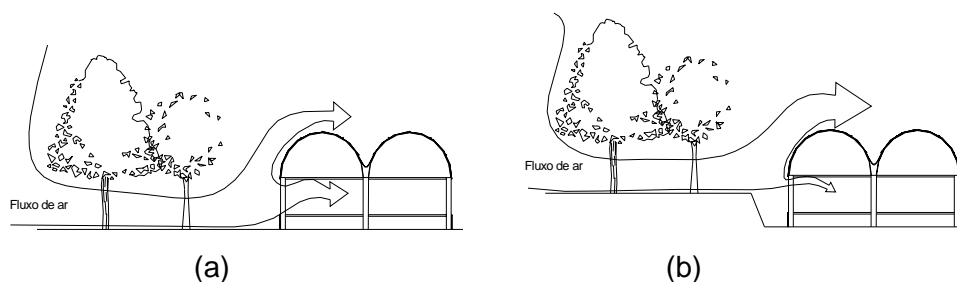


Figura 22 - Fluxo de ar através de conjunto de árvores. Adaptado de RIVERO (1985).

#### 4.1.1.2. Fatores relacionados com a concepção arquitetônica

No geral, no decorrer do período experimental, os materiais componentes da estrutura e dos fechamentos mostraram-se mecanicamente

resistentes às condições de exposição aos agentes ambientais sol, chuva e vento, não apresentaram peças danificadas e puderam facilmente ser encontrados no mercado regional, o que leva a supor que seja uma proposta viável para os agricultores.

Ao executar alguns dos elementos do modelo arquitetônico testado, foi percebida a necessidade de se atentar para alguns detalhes que podem melhorar seu desempenho, como descrito a seguir.

A calha central (Figura 12) situada na junção da cobertura semicilíndrica dos módulos de cada casa, ao ser fixada internamente às ripas que prenderam o fechamento da cobertura, deve ter o canal de escoamento mais profundo sem, no entanto, tocar a estrutura da cobertura. Essa medida evita que em situações de muita precipitação de chuva a calha de lona plástica se encha e vazze água pelos cortes laterais, o que possivelmente comprometerá a durabilidade da estrutura de suporte e alterará o teor de umidade do ar interno.

Ainda quanto à mesma calha, as suas extremidades devem ser fixadas nos pilares frontais, o que não permitirá que se deformem para dentro da casa de vegetação, resultando no retorno ou escoamento da água da chuva para o seu interior.

Nos lanternins invertidos, deve-se tomar cuidado para que sejam mínimas as dobras na lona plástica, ao ser pregada na ripa transversal de fixação da cobertura (Figura 12). Em ocasiões com chuvas, essas dobras podem contribuir para a formação de bolsas de água nas extremidades da calha dos lanternins invertidos, podendo ocorrer o rompimento da lona plástica.

A largura da calha do lanternim deve ser reestudada, pois percebeu-se que a das casas L e LS (0,70 m de largura), em situações de chuvas intensas possibilitou que a água da chuva respingasse no interior da casa de vegetação, aumentando a umidade do solo e dificultando a movimentação de pessoas.

Deve-se pensar também em um elemento, tipo beiral ou calha, que permita coletar a água da chuva que escoar pela cobertura em direção à lateral da casa de vegetação, já que nos protótipos testados a água escorreu sobre a tela de sombreamento. Todavia, antes de se fazer um redesenho, é fundamental verificar o que pode significar para o microclima da casa de vegetação, o umedecimento da tela nas laterais.

#### **4.1.2. Análise funcional do sistema**

Observou-se que a composição dos fechamentos laterais mostrou-se eficiente. A tela de sombreamento permitiu constante ventilação no interior das casas de vegetação e a lona plástica, até 0,50m do solo, protegeu as plantas, principalmente dos canteiros laterais, de ventos fortes e chuvas.

Nas casas de vegetação com lanternim invertido não foi possível o controle da entrada de insetos e animais, visto que as aberturas da cobertura não apresentavam nenhum obstáculo à passagem desses intrusos.

A colocação e a fixação das vedações foram executadas de forma prática, favorecendo a durabilidade e facilidade na troca dos materiais componentes.

O sistema de irrigação atendeu às necessidades hídricas da alface, sendo necessária apenas a limpeza semanal do filtro de tela; também mostrou-se eficiente nas aplicações individuais de fertilizantes nas casas de vegetação.

## **4.2. Avaliação das variáveis ambientais**

### **4.2.1. Temperatura e umidade relativa do ar e temperatura de globo negro**

#### **4.2.1.1. Condições de exposição: sol descoberto e céu claro**

##### **a) Temperatura do ar**

Para a situação de sol descoberto e menos de 30% de nuvens no céu, constatou-se, por meio das observações realizadas a 0,30m de altura do solo (Figura 23) durante a primeira fase experimental, que: a) as casas de vegetação T e L apresentaram perfis de temperatura de bulbo seco (Tbs) similares, com valores máximos da ordem de 38°C em torno das 13h; b) as casas de vegetação LS e S e o exterior apresentaram perfis de Tbs quase coincidentes até aproximadamente às 11h; e a partir desse horário, as casas LS e S mantiveram o mesmo perfil de Tbs, apresentando um máximo em torno de 34,5°C próximo às 13h30min, enquanto o ar exterior atingiu um máximo em torno de 33,5°C próximo às 12h30min.

As casas de vegetação com sombreamento apresentaram retardo térmico de aproximadamente uma hora com relação ao ar exterior, o que pode ser atribuído à composição da cobertura.

No horário mais quente do dia, notou-se uma diferença de cerca de 4°C entre as casas não-sombreadas (T e L) em relação às casas com sombreamento (LS e S), com valores superiores nas primeiras. Isso se deveu, possivelmente, à presença da tela de sombreamento sobre a cobertura, que, de acordo com RIVERO (1985), colocada na superfície exterior apresentou maior efetividade como dispositivo de proteção solar, contribuindo com a redução da quantidade de energia que passa, por transparência, para o interior das casas de vegetação LS e S e, conseqüentemente, com o aumento da inércia térmica desses ambientes.

Da análise do comportamento térmico das casas expostas a sol descoberto depreende-se, pela Figura 23, que: a) nas casas não-sombreadas, o lanternim invertido da casa L foi responsável pela pequena diferença, ao longo do dia, entre os perfis de Tbs das casas T e L; b) nas casas sombreadas, os perfis de Tbs mantiveram-se quase sobrepostos ao longo do dia, o que indica que a presença do lanternim invertido na casa LS praticamente não

contribuiu para a diferenciação do desempenho térmico das casas LS e S; c) a diferença de aproximadamente 4°C, no horário mais quente do dia, entre as casas sombreadas e as não-sombreadas, deveu-se predominantemente ao sombreamento da radiação solar pela tela na cobertura das sombreadas.

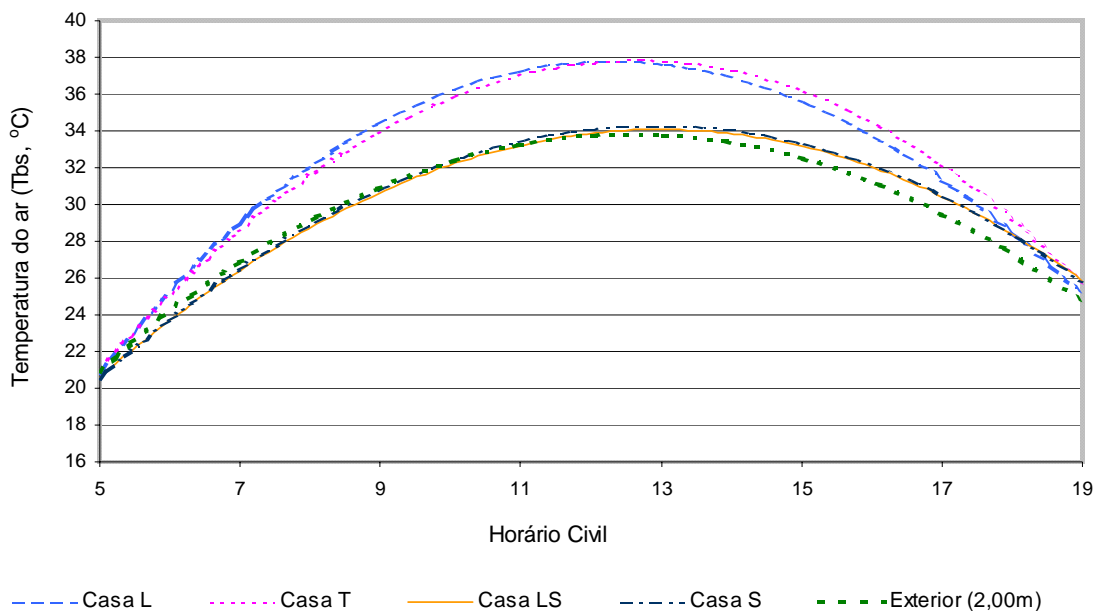


Figura 23 - Temperaturas de bulbo seco do ar – sol descoberto – coleta: 0,30m do solo 1ª fase experimental.

Ainda na primeira fase experimental, sob as mesmas condições de exposição, nas observações realizadas a 2,00m de altura do solo (Figura 24) constatou-se que: a) as casas de vegetação T e L apresentaram perfis de Tbs similares aos encontrados a 0,30m de altura, com valores máximos da ordem de 38°C e 37,6°C, respectivamente, em torno das 13h; b) as casas de vegetação LS e S e o exterior apresentaram perfis de Tbs quase coincidentes até aproximadamente às 9h; a partir desse horário, a casa LS e o exterior mantiveram o mesmo perfil de Tbs, apresentando um máximo em torno de 34°C próximo às 12h30min, enquanto a casa S atingiu um máximo em torno de 34,7°C próximo às 13 horas.

No horário mais quente do dia, notou-se uma diferença de no mínimo cerca de 3,0°C entre as casas não-sombreadas (T e L) e as com sombreamento (LS e S), fenômeno similar ao que ocorreu a 0,30m de altura. Verificou-se, no entanto, diferença de cerca de 0,4°C entre as casas não-sombreadas T e L, e de cerca de 0,7°C entre as casas com sombreamento, o que provavelmente foi contribuição do lanternim, que permitiu pequena exaustão do ar quente para o exterior. Essa pequena diferença demonstrou a

pouca efetividade do uso no lanternim sob radiação direta, em ambientes com os aspectos construtivos (dimensões e composição de fechamentos) iguais aos testados nesta pesquisa, na redução da temperatura do ar interior.

Da análise do comportamento térmico das casas expostas a sol descoberto depreende-se, pela Figura 24, que: a) nas casas não-sombreadas, o lanternim invertido da casa L foi responsável pela pequena diferença, ao longo do dia, entre os perfis de Tbs das casas T e L; b) nas casas sombreadas, os perfis de Tbs apresentaram diferença da ordem de 0,7°C no período mais quente do dia, o que indica que a presença do lanternim invertido na casa LS contribuiu para a pequena diferença do desempenho térmico das casas LS e S a 2,00m de altura; e c) as pequenas diferenças nos perfis de temperatura das observações a 0,30m e 2,00m ocorreram possivelmente em virtude da inversão do lanternim, que ao permitir uma pequena exaustão do ar quente acumulado na região superior das casas de vegetação promoveu as pequenas reduções na temperatura do ar à altura de 2,00m.

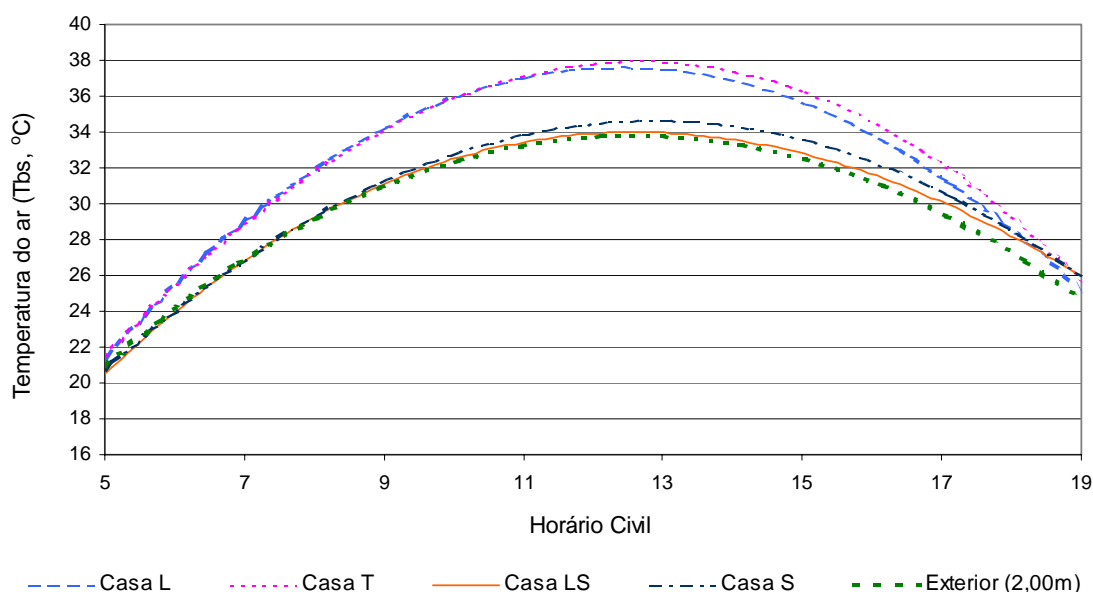


Figura 24 - Temperaturas de bulbo seco do ar – sol descoberto – coleta: 2,00m do solo 1ª fase experimental.

Ainda para a situação de sol descoberto e menos de 30% de nuvens no céu, nas observações realizadas a 0,30m de altura do solo (Figura 25), durante a segunda fase experimental, constatou-se que: a) as casas de vegetação T e L apresentaram perfis de Tbs similares, com valores máximos da ordem de 35°C em torno das 12h30min; b) as casas de vegetação LS e S mantiveram perfis de Tbs quase coincidentes apresentando um máximo em

torno de 33°C próximo às 13h, enquanto o ar exterior atingiu um máximo em torno de 33,8°C próximo às 13 horas.

No horário mais quente do dia, notou-se uma diferença da ordem de 2°C entre as casas não-sombreadas (T e L) em relação às casas com sombreamento (LS e S). Essa diferença veio a confirmar o observado na primeira fase experimental, indicando que as maiores diferenças no perfil de temperatura do ar deveram-se à presença da tela de sombreamento na cobertura, que funcionou como dispositivo de proteção solar, conferindo maior resistência à passagem de radiação solar pelos fechamentos da edificação, e, conseqüentemente, menor elevação na temperatura do ar desses ambientes.

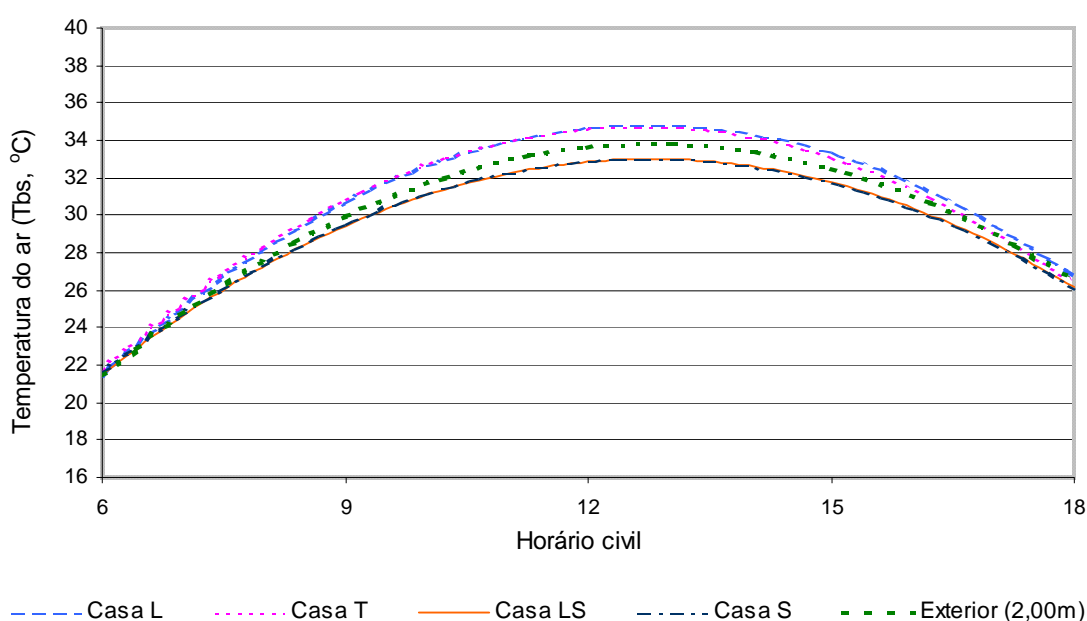


Figura 25 - Temperaturas de bulbo seco do ar – sol descoberto – coleta: 0,30 m do solo – 2ª fase experimental.

A partir da análise do comportamento térmico das casas expostas à radiação solar direta durante a segunda fase experimental, houve a confirmação das observações apresentadas sobre o perfil de T<sub>bs</sub> dos quatro tratamentos na primeira fase experimental. Observou-se que os máximos de temperatura apresentados na segunda fase dentro das casas de vegetação foram inferiores aos apresentados na primeira fase, enquanto os máximos da temperatura exterior nas duas fases mantiveram-se valores da mesma ordem. Isso indica a probabilidade de ter ocorrido a degradação e a perda de transparência do material da cobertura, possivelmente pela deposição de sujidades observada visualmente no decorrer da segunda fase.

Ainda na primeira fase experimental, as médias das três observações

realizadas durante o ciclo de 24h, sob condições de céu claro e sol descoberto, estão apresentadas na Figura 26. As casas T e L comportaram-se similarmente no decorrer do período e apresentaram amplitudes térmicas da ordem 20,5°C; as casas LS e S, com valores praticamente iguais entre si e com o ar exterior, com este apenas no período do dia, apresentaram amplitudes da ordem de 17°C, enquanto o ar exterior apresentou amplitude de 18°C. Maiores amplitudes térmicas nas casas T e L devem-se principalmente ao material de fechamento usado na cobertura, lona plástica, que permitiu mais intercâmbios de calor. A colocação da tela de sombreamento sobre a lona plástica da cobertura das casas LS e S fez com que a amplitude das variações térmicas em seus interiores diminuísse, o que permite afirmar, de acordo com RIVERO (1985), que essa composição de fechamento de cobertura apresentou maior capacidade de bloquear a radiação solar direta, mantendo a temperatura do ar no interior das casas de vegetação LS e S com valores bem próximos aos encontrados no exterior.

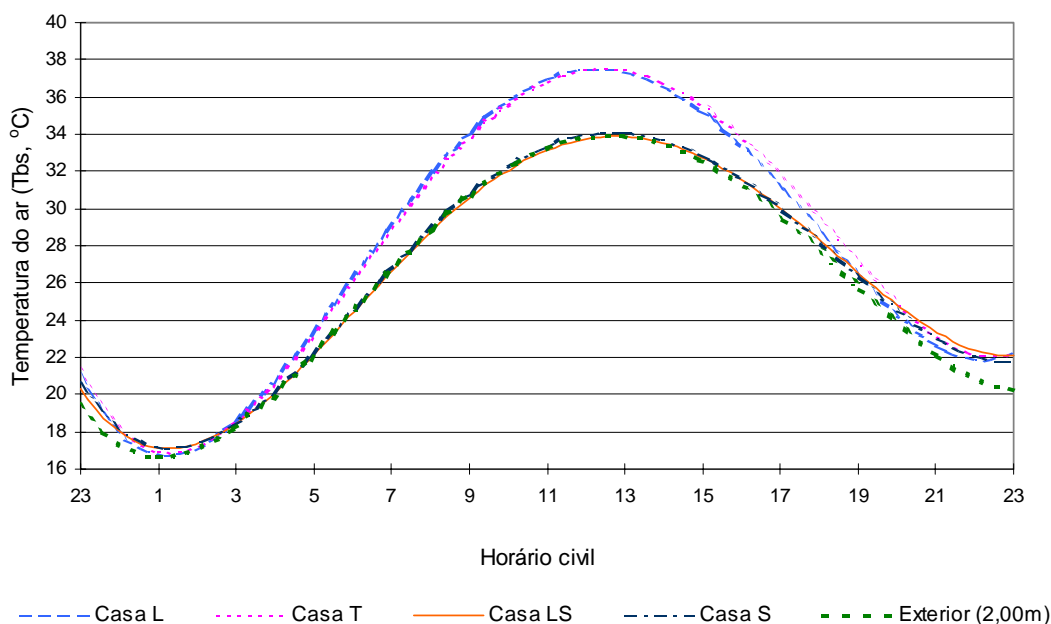


Figura 26 - Temperaturas de bulbo seco do ar – sol descoberto – coleta: 0,30m do solo – 1ª fase experimental – Ciclo de 24horas.

Da análise do comportamento térmico das casas de vegetação durante o ciclo de 24h e dos valores máximos considerados ótimos para o cultivo da alface por SGANZERLA (1997) e por Lorenz e Maynard, citados por WIEN (1997), que variam de 20°C a 24°C, depreende-se, pela Figura 26, que: a) as casas sombreadas (LS e S) apresentaram condições mais adequadas ao cultivo da alface, contudo não mostraram valores dentro dos valores

considerados ótimos; b) há indicações de que o uso da tela de 50% de sombreamento tenha contribuído com a redução da amplitude térmica nas casas de vegetação sombreadas, possivelmente uma obstrução maior que 50% da radiação solar contribuiria com a redução dos valores médios de temperatura ar sob essas condições de exposição. O uso de uma obstrução maior que 50% da radiação solar deve ser mais bem estudado e levado em consideração a cultura que se pretende cultivar; no caso da alface mais redução da temperatura do ar seria um aspecto benéfico, desde que a quantidade de iluminação necessária ao pleno desenvolvimento da cultura seja respeitada.

### b) Umidade relativa do ar

Nas observações realizadas a 0,30m de altura do solo (Figura 27) durante a primeira fase experimental, em condições de sol descoberto, constatou-se que: a) as casas de vegetação T e L apresentaram perfis de umidade relativa do ar (UR) similares, com valores mínimos da ordem de 41% e 42%, respectivamente, em torno das 12h30min; b) as casas de vegetação LS e S e o ar exterior apresentaram perfis de UR similares, com valores mínimos da ordem de 47%, 48% e 49% respectivamente, próximo às 13 horas.

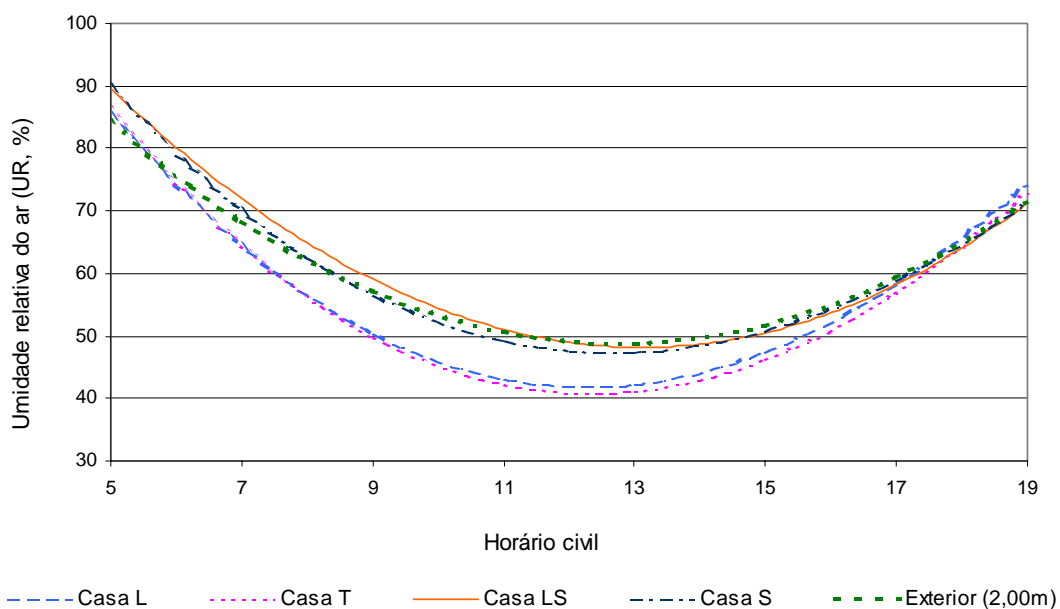


Figura 27 – Umidade relativa do ar – sol descoberto – coleta: 0,30 m do solo – 1ª fase experimental.

No horário mais quente do dia, notou-se diferença de UR em média de 7% entre as casas não-sombreadas (T e L) em relação às casas com sombreamento (LS e S), com valores superiores nas primeiras. Isso se deveu

indiretamente à presença da tela de sombreamento, que, ao conferir maior resistência térmica aos fechamentos das casas LS e S, promoveu menos aumento na temperatura do ar e, de forma indireta, a umidade relativa do ar permaneceu mais elevada. No mesmo horário, notou-se também diferença mínima da ordem de 1% entre as casas T e L, e entre as casas S e LS. Essa diferença possivelmente pode ter sido em decorrência das pequenas variações nos valores de temperatura do ar entre as casas de igual material de cobertura e também devido à presença do lanternim.

Da análise do comportamento da umidade relativa nas casas de vegetação expostas a sol descoberto, depreende-se, pela Figura 27, que: a) a tela de sombreamento foi responsável de forma indireta pelas diferenças de UR entre as casas T e L, com relação às casas LS e S; b) nas casas de vegetação com sombreamento e nas não-sombreadas, o lanternim foi responsável pela pequena diferença da umidade relativa.

Nas casas T e L, no período mais quente do dia, os valores de UR inferiores aos do ar exterior possivelmente decorreram da conjugação dos seguintes fatores: maior concentração de calor nesses ambientes, conseqüente aumento da pressão de vapor e porosidade do material de fechamento das laterais. Como as laterais permaneceram porosas durante o período experimental, a maior pressão do vapor d'água possibilitou a expansão do conjunto ar-vapor d'água para o exterior das casas de vegetação, resultando na redução da UR interior.

Na primeira fase experimental, nas observações a 2,00m de altura, percebeu-se que o comportamento e os valores de UR continuaram praticamente os mesmos dos observados a 0,30m. Pode-se afirmar, então, que a distribuição de umidade relativa foi praticamente uniforme no interior das edificações, independentemente da altura de coleta.

Nas observações realizadas a 0,30m de altura do solo durante a segunda fase experimental, em condições de sol descoberto, o perfil de umidade relativa dos quatro tratamentos foi similarmente próximo nos horários mais quentes do dia, havendo diferença não muito significativa da ordem de 3% entre o menor valor (47% na casa T) e o maior valor (50% nas casas LS e S). Isso provavelmente decorreu do período chuvoso e da organização e tratamento dos dados de acordo com a exposição e com o horário de coleta, independentemente do restante do dia.

Ainda na primeira fase experimental, do perfil de umidade relativa das observações realizadas durante o ciclo de 24h (Figura 28), sob condições de céu claro e sol descoberto, constatou-se que: a) a casa de vegetação T apresentou amplitude de UR da ordem de 52%; b) a casa de vegetação L e o ar exterior comportaram-se similarmente, apresentando amplitudes de UR da ordem de 48%; c) as casas de vegetação LS e S apresentaram amplitudes de UR da ordem de 44%.

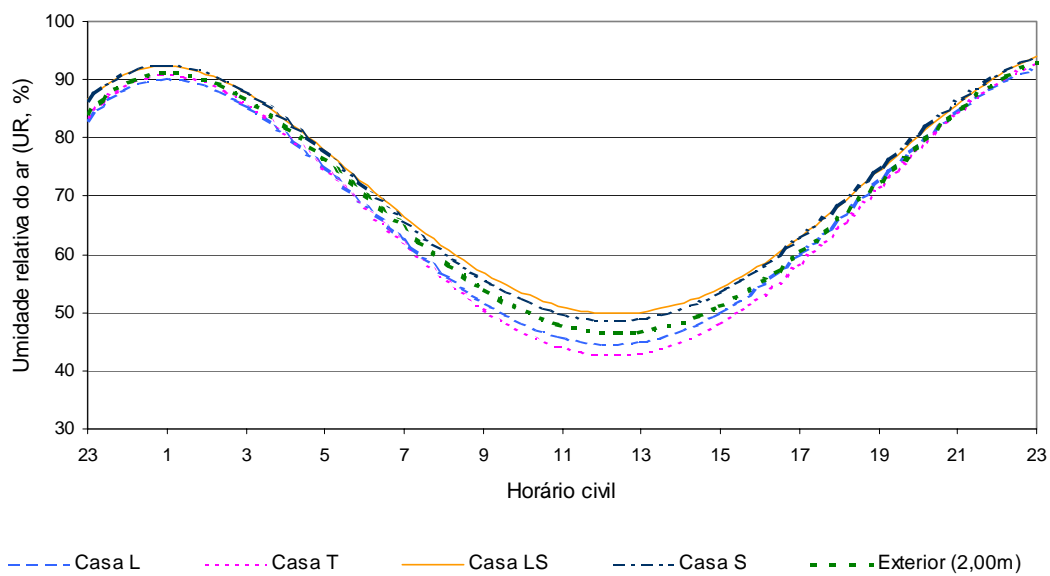


Figura 28 - Umidade relativa do ar – sol descoberto – coleta: 0,30 m do solo – 1ª fase experimental – Ciclo de 24 horas.

Da análise do comportamento da umidade relativa das casas de vegetação durante o ciclo de 24h e dos valores considerados ótimos para o cultivo da alface (SGANZERLA, 1997), que devem variar de 60% a 70%, depreende-se pela Figura 28, que: a) todas as casas de vegetação testadas apresentaram valores médios, durante 24 horas, compreendidos dentro da faixa de valores ótimos, indicando que, quanto à UR, os quatro tratamentos atenderam às necessidades da cultura; b) as maiores diferenças na umidade relativa entre os tratamentos, ocorridas no período do dia, devem-se principalmente à quantidade de calor presente em cada ambiente, diretamente relacionada com a composição do fechamento da cobertura, como visto no item anterior.

### c) Temperatura de globo negro

Nas observações realizadas a 0,30m de altura do solo (Figura 29), durante a primeira fase experimental, em condições de sol descoberto,

constatou-se que: a) a casa de vegetação T apresentou perfil de temperatura de globo negro (Tgn) com máximo da ordem de 49°C, a casa de vegetação L apresentou um máximo da ordem de 46,5°C, enquanto o ar exterior apresentou valor máximo de Tgn da ordem de 45,5°C, todos aproximadamente às 12h30min; b) as casas de vegetação LS e S apresentaram perfis de Tgn similares, a casa S com um máximo da ordem de 38,5°C e a casa LS da ordem de 38°C.

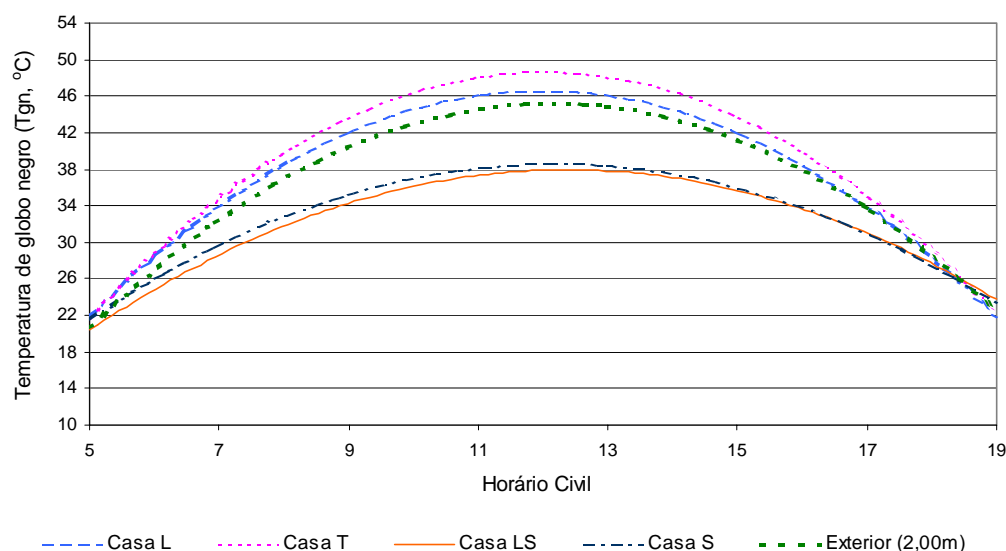


Figura 29 – Temperaturas de globo negro – sol descoberto – coleta: 0,30 m do solo – 1ª fase experimental.

No horário mais quente do dia, notou-se: a) uma diferença de no mínimo 8°C entre as casas não-sombreadas (T e L) em relação às sombreadas (LS e S); b) uma diferença de cerca de 2,5°C entre as casas T e L. As diferenças entre as casas não-sombreadas e as sombreadas deveram-se principalmente à presença da tela de sombreamento; já a diferença entre as duas casas de vegetação não-sombreadas indica que a presença do lanternim invertido ocasionou pequenas trocas de ar com o exterior, o que contribuiu para a redução da Tgn dentro da casa L.

Da análise do comportamento da Tgn das casas expostas a sol descoberto, as diferentes composições da cobertura certamente influenciaram diretamente na carga de radiação no interior das casas de vegetação. Depreende-se que as pequenas diferenças da Tgn entre as casas com tratamentos iguais de sombreamento decorreram da existência do lanternim, o qual contribuiu levemente para a atenuação da carga térmica radiante interna, perceptível principalmente na casa L comparativamente à casa T.

Ainda na primeira fase experimental, sob as mesmas condições de exposição, nas observações realizadas a 2,00m de altura do solo (Figura 30) constatou-se que: a) as casas de vegetação T e L apresentaram perfis de T<sub>gn</sub> similares, sendo constatado na casa T um máximo da ordem 51°C e na casa L um máximo da ordem de 50°C, enquanto o ar exterior apresentou valor máximo de T<sub>gn</sub> da ordem de 45,5°C, aproximadamente às 12h30min; b) as casas de vegetação LS e S apresentaram perfis de T<sub>gn</sub> similares, tendo a casa S atingido um máximo da ordem de 42°C e a casa LS da ordem de 41°C.

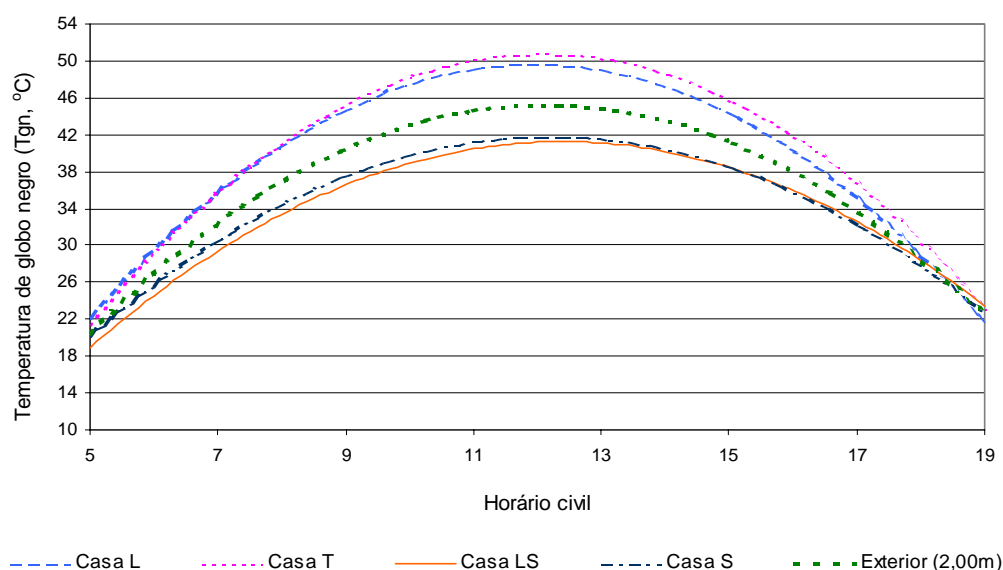


Figura 30 - Temperaturas de globo negro – sol descoberto – coleta: 2,00 m do solo – 1ª fase experimental.

No horário mais quente do dia, notaram-se: a) diferenças similares às encontradas nas coletas a 0,30m de altura entre as casas não-sombreadas (T e L) em relação às sombreadas (LS e S); b) uma diferença de cerca de 1°C entre as casas T e L.

Da análise do comportamento da T<sub>gn</sub> das casas expostas a sol descoberto, percebe-se que: a) ocorreram valores diferentes nas duas alturas de coletas de dados, sendo superiores os dados coletados a 2,00m de altura, o que indica que a esta altura houve maior exposição à radiação, aspecto mais favorável para os vegetais que para os operadores das casas de vegetação; b) nas casas de vegetação não-sombreadas (T e L) percebeu-se mais nitidamente a pequena contribuição do lanternim para a atenuação da carga térmica radiante; c) nas casas de vegetação sombreadas (LS e S), o efeito do lanternim não foi significativamente percebido, levando-se a crer que o componente sombreamento foi o responsável pelos menores valores de T<sub>gn</sub>.

Nas observações realizadas a 0,30m de altura do solo (Figura 31), durante a segunda fase experimental, em condições de sol descoberto, constatou-se que: a) as casas de vegetação T e L e o exterior apresentaram perfis de T<sub>gn</sub> bem próximos, sendo verificado na casa T máximo da ordem 46°C, na casa L máximo da ordem de 45,5°C, e o ar exterior apresentou valor máximo de T<sub>gn</sub> da ordem de 46°C; b) as casas de vegetação LS e S apresentaram perfis de T<sub>gn</sub> quase coincidentes, com máximo da ordem de 38°C.

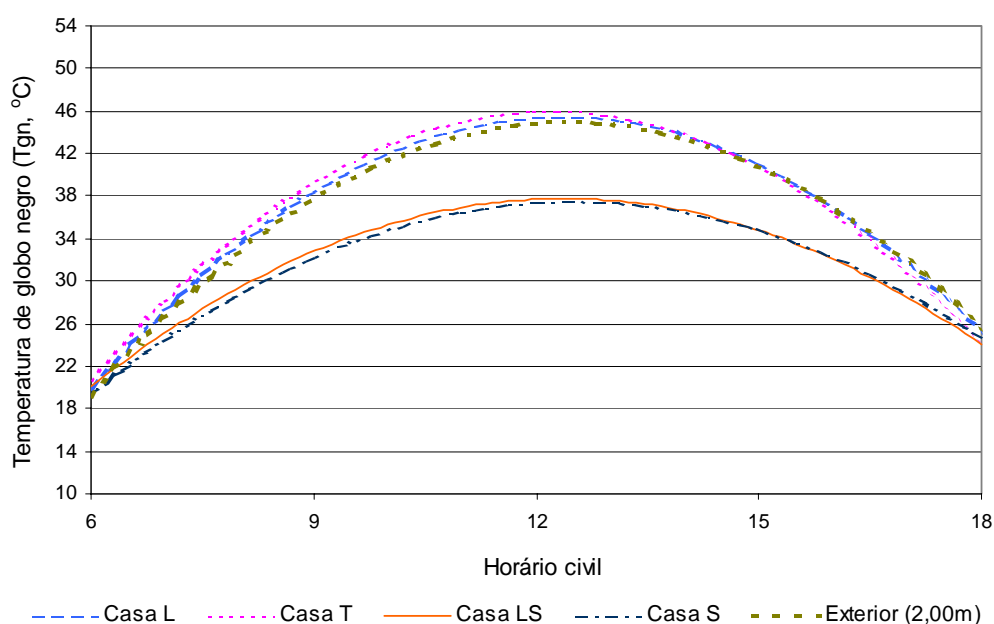


Figura 31 - Temperaturas de globo negro – sol descoberto – coleta: 0,30 m do solo – 2ª fase experimental.

No horário mais quente do dia, notou-se: a) diferença de no mínimo 7,5°C entre as casas não-sombreadas (T e L) em relação às sombreadas (LS e S); b) uma pequena diferença, de cerca de 0,5°C, entre as casas T e L.

Da análise do comportamento da T<sub>gn</sub> das casas expostas a sol descoberto, na segunda fase experimental, percebe-se que a contribuição do lanternim para a atenuação da carga térmica radiante foi menor que na primeira fase; b) a diferença nos perfis de T<sub>gn</sub> entre as casas não-sombreadas (T e L) em relação às casas sombreadas (LS e S) foi inferior à apresentada na primeira fase. Provavelmente, os resultados obtidos da T<sub>gn</sub>, sob céu claro e sol descoberto, nessa fase experimental foram afetados pelo prolongado período chuvoso, além disso, as condições de exposição, céu claro e sol descoberto, organizadas e tratadas dependeram da manifestação dessas condições nos momentos das medições, independentemente do que aconteceu no restante do

dia.

Ainda na primeira fase experimental, as médias das três observações realizadas durante o ciclo de 24h, sob condições de céu claro e sol descoberto, estão apresentadas na Figura 32. Nota-se que: a) as casas não-sombreadas, T e L, e o exterior apresentaram as maiores amplitudes de Tgn no decorrer do período, com valores da ordem de 37,5°C, 35°C e 33°C respectivamente; b) as casas de vegetação sombreadas (LS e S) apresentaram perfis de Tgn praticamente coincidentes, com amplitude da ordem de 25°C.

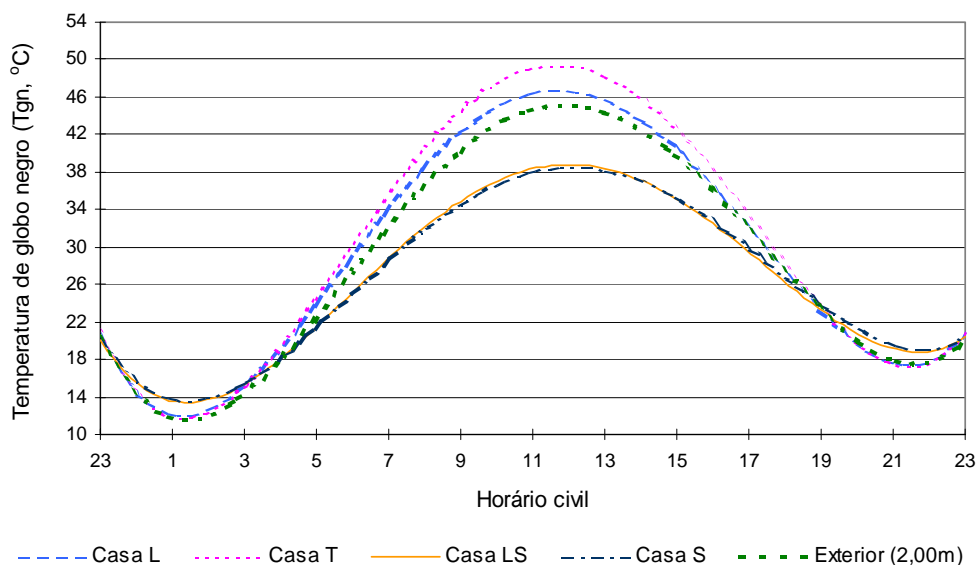


Figura 32 - Temperaturas de globo negro – sol descoberto – coleta: 0,30 m do solo – 1ª fase experimental – Ciclo de 24 horas.

Da análise do comportamento de Tgn durante as observações de 24 horas, depreende-se que as maiores variações no perfil de Tgn, entre as casas não-sombreadas e as sombreadas, deveram-se essencialmente à presença da tela de sombreamento, que reduziu principalmente a passagem de uma parcela de radiação solar; nas casas não-sombreadas, pode-se considerar que a diferença de amplitude da casa T em relação à casa L foi contribuição do lanternim.

Em razão da ausência de dados de outros trabalhos para comparar os resultados de Tgn obtidos na produção de alface, pode-se inferir que as casas de vegetação LS e S, por apresentarem menores amplitudes de Tgn durante 24 horas, possivelmente ofereceram condições mais favoráveis ao desenvolvimento da alface.

#### 4.2.1.2. Condições de exposição: sol encoberto e céu nublado

##### a) Temperatura do ar

Nas observações realizadas a 0,30m de altura do solo (Figura 33), durante a primeira fase experimental, em condições de sol encoberto, constatou-se que: a) as casas de vegetação T e L apresentaram perfis de temperatura de bulbo seco (Tbs) similares, com valores máximos da ordem de 29,5°C; b) as casas de vegetação LS e S e o exterior mantiveram perfis de Tbs praticamente coincidentes, apresentando um máximo da ordem de 28°C.

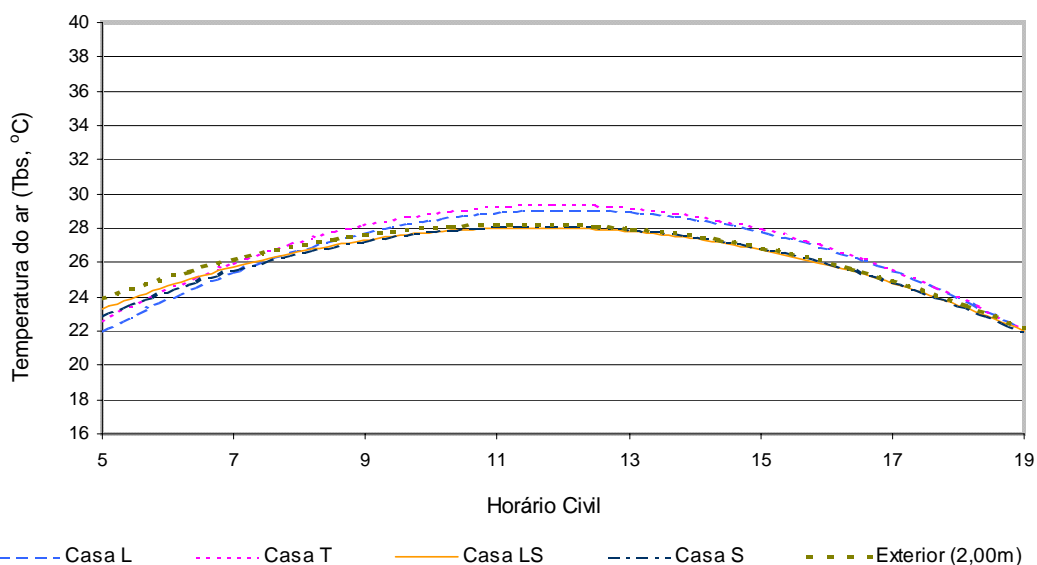


Figura 33 - Temperaturas de bulbo seco do ar – sol encoberto – coleta: 0,30m do solo 1ª fase experimental.

No horário mais quente do dia, constatou-se que as casas não-sombreadas ficaram com Tbs aproximadamente 1,5°C acima das sombreadas.

Da análise do comportamento térmico das casas expostas a sol encoberto depreende-se, pela Figura 33, que: a) nas casas não-sombreadas, o lanternim invertido da casa L foi responsável pela pequena diferença, ao longo do dia, entre os perfis de Tbs das casas T e L; b) nas casas sombreadas, a sobreposição dos perfis de Tbs, ao longo do dia, indica que a presença do lanternim invertido na casa LS praticamente não contribuiu para a diferenciação do desempenho térmico das casas LS e S.

Ainda na primeira fase experimental, sob as mesmas condições de exposição, nas observações realizadas a 2,00m de altura do solo (Figura 34) constatou-se que: a) as casas de vegetação T e L apresentaram perfis de temperatura de bulbo seco (Tbs) similares aos encontrados a 0,30m de altura, com valores máximos da ordem de 29,5°C; b) as casas de vegetação LS e S e

o exterior também apresentaram perfis de Tbs quase coincidentes com valores máximos da ordem de 28°C.

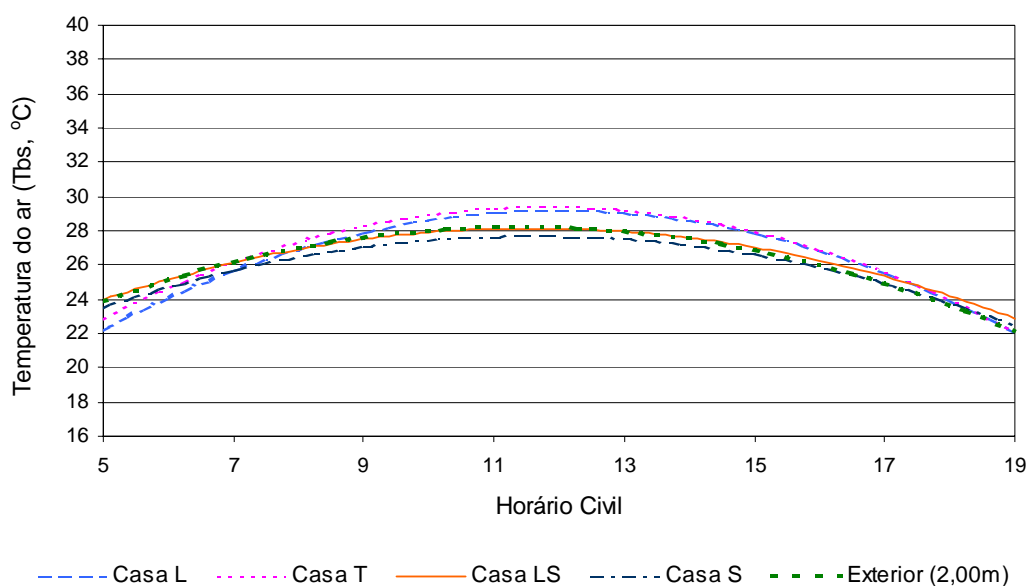


Figura 34 - Temperaturas do ar – sol encoberto – coleta: 2,00m do solo – 1ª fase experimental.

Da análise do comportamento térmico das casas expostas a sol encoberto durante a primeira fase experimental, depreende-se que não houve diferenças nos resultados nas duas alturas de coleta, permitindo dizer que, sob essas condições de exposição, as casas de vegetação apresentaram distribuição uniforme de temperatura.

Nas observações realizadas a 0,30m de altura do solo (Figura 35), durante a segunda fase experimental, em condições de sol encoberto, constatou-se que: a) as casas de vegetação T e L apresentaram perfis de Tbs praticamente coincidentes no decorrer do dia, com máximos da ordem de 25°C; b) as casas de vegetação LS e S e o ar exterior mantiveram perfis de Tbs similares, com máximos da ordem de 23,5°C.

A partir da análise do comportamento térmico das casas expostas a sol encoberto durante a segunda fase experimental, foi possível confirmar as observações apresentadas sobre as quatro casas de vegetação na primeira fase experimental. Podendo-se notar que: a) as casas não-sombreadas mantiveram temperaturas da ordem de 1,5°C superiores à apresentada pelo ar exterior no período mais quente do dia; b) as casas sombreadas mostraram perfis de Tbs praticamente iguais ao ar exterior durante o dia.

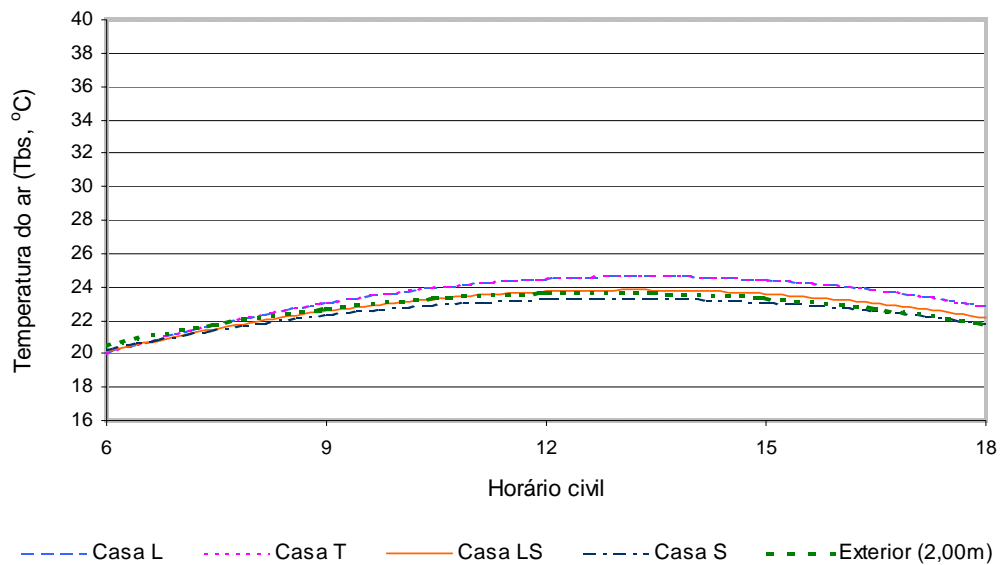


Figura 35 - Temperaturas do ar – sol encoberto – coleta: 0,30 m do solo – 2ª fase experimental.

Ainda na primeira fase experimental, no perfil de Tbs das observações realizadas durante o ciclo de 24 horas (Figura 36), sob condições de céu nublado e sol encoberto, observa-se que: a) as casas de vegetação T e L apresentaram perfil de Tbs similares, apresentando amplitudes térmicas da ordem 11°C; b) as casas de vegetação LS e S e o ar exterior apresentaram valores praticamente iguais entre si amplitudes térmicas da ordem de 10°C. Percebe-se que os comportamentos e amplitudes térmicas encontrados indicam que os materiais componentes das coberturas apresentam os mesmos efeitos e as mesmas respostas nas temperaturas internas encontrados sob condições de sol descoberto.

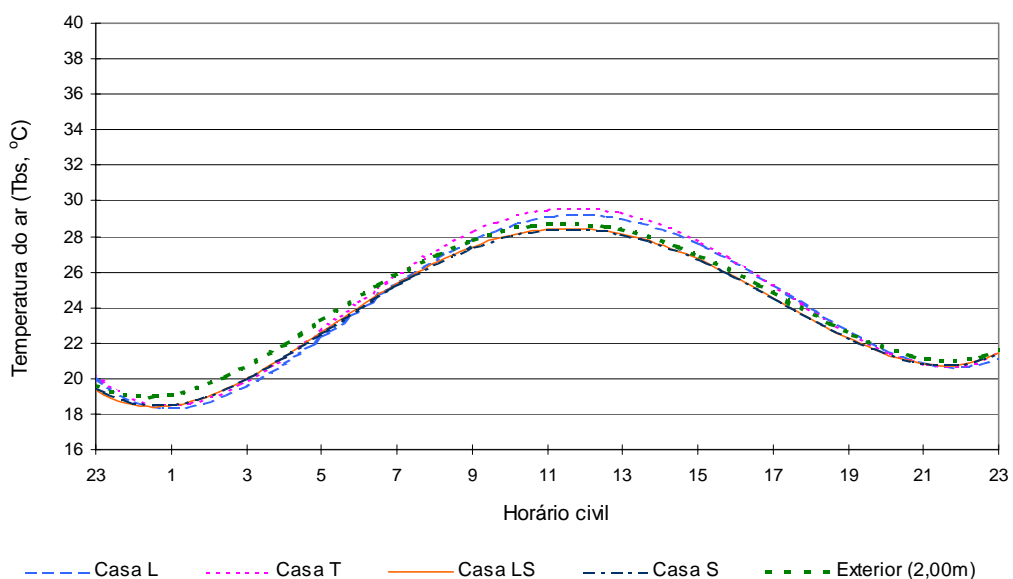


Figura 36 - Temperaturas do ar – sol encoberto – coleta: 0,30 m do solo – 1ª fase experimental – Ciclo de 24 horas.

Da análise do comportamento térmico das casas de vegetação durante o ciclo de 24 horas, sob condições de sol encoberto, observa-se que as temperaturas médias dentro das quatro casas de vegetação permaneceram com valores dentro da faixa de valores máximos considerados ótimos para o cultivo da alface, segundo SGANZERLA (1997) e Lorenz e Maynard, citados por WIEN (1997), valores que devem ficar de 20°C a 24°C, permitindo concluir que sob essas condições as quatro casas de vegetação apresentaram condições adequadas ao cultivo da alface.

## b) Umidade relativa do ar

Nas observações realizadas a 0,30m de altura do solo (Figura 37), durante a primeira fase experimental, em condições de sol encoberto, constatou-se que: a) as casas de vegetação T e L apresentaram perfil de umidade relativa do ar (UR) quase coincidentes, com valores mínimos da ordem de 58%; b) a casa de vegetação LS, o ar exterior e a casa de vegetação S apresentaram perfis de UR similares, com valores mínimos da ordem de 62%, 61% e 60,5%, respectivamente.

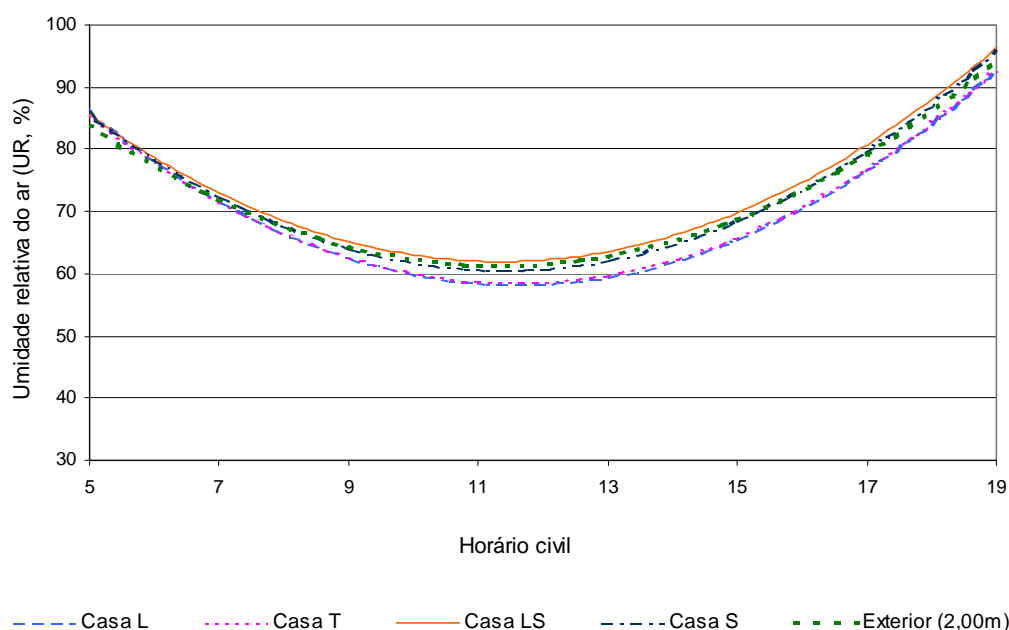


Figura 37 - Umidade relativa do ar – sol encoberto – coleta: 0,30 m do solo – 1ª fase experimental.

No horário mais quente do dia, notou-se diferença de UR de no mínimo 3% entre as casas não-sombreadas (T e L) em relação às casas com sombreamento (LS e S). Percebe-se que: a) as diferenças nos valores mínimos encontrados no perfil de UR indicam que os materiais componentes das

coberturas apresentaram os mesmos efeitos na umidade relativa do ar interior encontrados sob condições de sol descoberto; b) as casas de vegetação T e L apresentaram no período mais quente do dia valores de UR inferiores aos encontrados no ar exterior; isso, provavelmente, decorreu da maior concentração de calor nesses ambientes.

Na primeira fase experimental, nas observações a 2,00m de altura, percebeu-se que o perfil de UR de cada casa de vegetação apresentou-se praticamente igual ao observado a 0,30m; podendo-se afirmar que houve distribuição uniforme de UR no interior das edificações, independentemente da altura de coleta.

Nas observações realizadas a 0,30m de altura do solo durante a segunda fase experimental, em condições de sol encoberto, os perfis de UR das quatro casas de vegetação foram similares e próximos nos horários mais quentes do dia, havendo uma diferença de não mais que 3% entre o menor valor (75% nas casas T e L) e o maior valor (78% nas casas LS e S). Pode-se deduzir que a pequena diferença dos valores mínimos de UR entre as casas não-sombreadas (T e L) e as sombreadas (LS e S) seja conseqüência da composição da cobertura no comportamento da Tbs dos ambientes de igual tratamento, ou seja, nas casas T e L houve a tendência de o ambiente ficar mais aquecido comparativamente às casas LS e S, e, conseqüentemente, a tendência de a umidade relativa do ar apresentar valores inferiores nas primeiras, comparativamente às segundas. Nessa fase experimental, os valores mínimos de umidade relativa foram superiores aos encontrados na primeira fase, embora os valores de temperatura do ar tenham sido de aproximadamente da mesma ordem. Isso deveu-se provavelmente, ao período chuvoso sob o qual a segunda fase foi realizada, havendo conseqüentemente maior concentração de umidade no solo das casas de vegetação e do entorno.

Ainda na primeira fase experimental do perfil de umidade relativa das observações realizadas durante o ciclo de 24h (Figura 38), sob condições de céu nublado e sol encoberto, constatou-se que: a) a casa de vegetação T apresentou amplitude de UR da ordem de 52%; b) a casa de vegetação L e o ar exterior comportaram-se similarmente, apresentando amplitudes de UR da ordem de 48%; e c) as casas de vegetação LS e S mostraram amplitudes de UR da ordem de 44%.

Da análise do comportamento da umidade relativa das casas de

vegetação durante o ciclo de 24h sob sol encoberto, percebe-se que os valores médios de UR estão acima dos considerados ótimos por SGANZERLA (1997), podendo-se afirmar que, possivelmente, sob essas condições de exposição, as casas de vegetação se tornaram propícias ao desenvolvimento de fitopatógenos prejudiciais à cultura da alface.

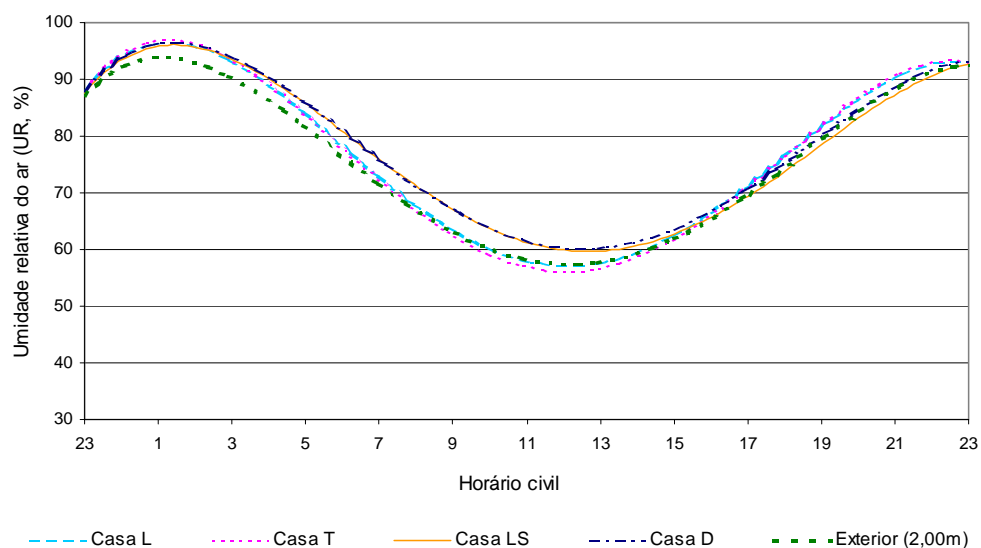


Figura 38 - Umidade relativa do ar – sol encoberto – coleta: 0,30 m do solo – 1ª fase experimental – Ciclo de 24 horas.

### c) Temperatura de globo negro

Nas observações realizadas a 0,30m de altura do solo (Figura 39), durante a primeira fase experimental, em condições de sol encoberto, constatou-se que: a) a casa de vegetação T apresentou perfil de temperatura de globo negro (Tgn) com máximo da ordem de 34°C, a casa de vegetação L apresentou um máximo da ordem de 33,5°C, enquanto o ar exterior apresentou valor máximo de Tgn da ordem de 33°C; b) as casas de vegetação LS e S apresentaram perfis de Tgn similares, com um máximo da ordem de 30°C .

No horário mais quente do dia, notou-se: a) uma diferença de no mínimo 3,5°C entre as casas não-sombreadas (T e L) as sombreadas (LS e S); b) uma diferença da ordem de 0,5°C entre a casa T e a casa L. As diferenças entre as casas não-sombreadas e as sombreadas deveu-se principalmente à presença da tela de sombreamento; a diferença entre as duas casas de vegetação não-sombreadas indica que a presença do lanternim invertido tenha contribuído para a redução da Tgn dentro da casa L.

Da análise do comportamento da Tgn das casas de vegetação, mesmo sob condições de sol encoberto as diferentes composições da cobertura

influenciaram diretamente na carga de radiação no interior das casas de vegetação. Sob essas condições de exposição, o lanternim invertido contribuiu mais na amenização da T<sub>gn</sub> das casas não-sombreadas do que nas com sombreamento.

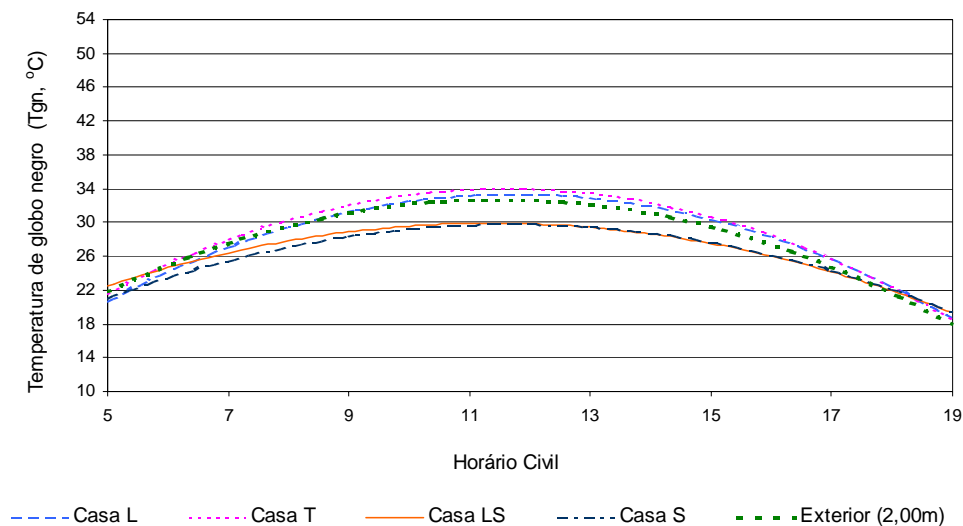


Figura 39 - Temperaturas de globo negro – sol encoberto – coleta: 0,30 m do solo – 1ª fase experimental.

Ainda na primeira fase experimental, sob condições de sol encoberto, nas observações realizadas a 2,00m de altura do solo (Figura 40), constatou-se que: a) a casa de vegetação T apresentou perfil de T<sub>gn</sub> com um máximo da ordem de 36°C, a casa de vegetação L apresentou perfil de T<sub>gn</sub> com um máximo da ordem de 34,5°C, enquanto o ar exterior atingiu um máximo de T<sub>gn</sub> da ordem de 33°C; b) as casas de vegetação LS e S apresentaram perfis de T<sub>gn</sub> praticamente coincidentes, apresentando máximo da ordem de 30°C.

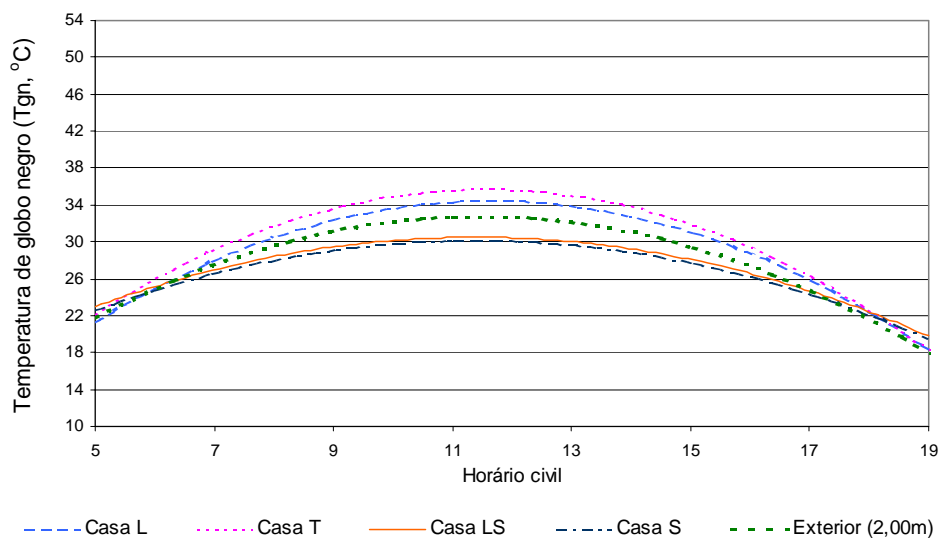


Figura 40 - Temperaturas de globo negro – sol encoberto – coleta: 2,00 m do solo – 1ª fase experimental.

No horário mais quente do dia, notaram-se: a) diferenças de no mínimo 4,5°C entre as casas não-sombreadas (T e L) e as sombreadas (LS e S); b) uma diferença da ordem de 1,5°C entre a casa T e a L, e de 3°C de T com o exterior.

Da análise do comportamento da Tgn das casas expostas a sol encoberto, percebe-se: a) repetição da tendência, observada sob condições de sol descoberto, dos valores a 2,00m de altura serem superiores aos à altura de 0,30m, indicando que mesmo sob condições de sol encoberto na altura de 2,00m há maior exposição à radiação; b) nas casas de vegetação não-sombreadas (T e L), o lanternim foi o elemento construtivo que contribuiu para a amenização da carga térmica radiante.

Nas observações realizadas a 0,30m de altura do solo (Figura 41), durante a segunda fase experimental, em condições de sol encoberto, constatou-se que: a) a casa de vegetação T apresentou perfil de Tgn com um máximo da ordem de 28,5°C, a casa de vegetação L apresentou perfil de Tgn com máximo da ordem 27,5°C, enquanto o ar exterior apresentou um máximo de Tgn da ordem de 26°C; b) as casas de vegetação LS e S apresentaram perfis de Tgn quase coincidentes, com máximo da ordem de 25°C.

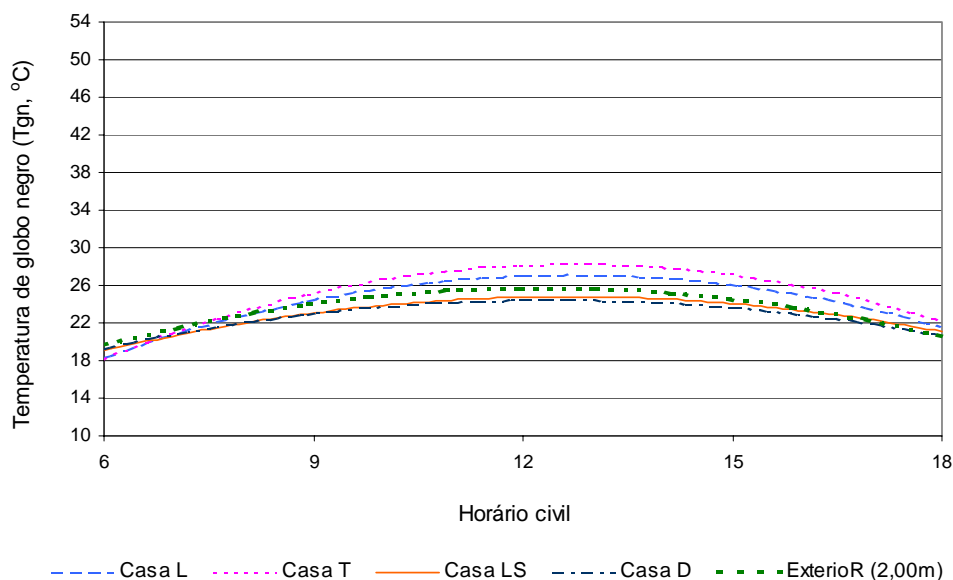


Figura 41 - Temperaturas de globo negro – sol encoberto – coleta: 0,30 m do solo – 2ª fase experimental.

No horário mais quente do dia, notou-se: a) uma diferença de no mínimo 2,5°C entre as casas não-sombreadas (T e L) e as sombreadas (LS e S); b) uma pequena diferença de cerca de 1°C entre a casa T e a L.

Da análise do comportamento da Tgn das casas expostas a sol

encoberto, na segunda fase experimental, percebe-se que a diferença nos perfis de Tgn entre as casas não-sombreadas (T e L) e as sombreadas (LS e S) foi inferior à apresentada na primeira fase. Provavelmente, esse comportamento das casas de vegetação quanto à Tgn, nessa fase experimental, seja devido ao prolongado período chuvoso.

Ainda na primeira fase experimental, os perfis de Tgn das observações realizadas durante o ciclo de 24h, sob condições de sol encoberto, estão apresentados na Figura 42. Nota-se que: a) as casas não-sombreadas (T e L) apresentaram perfis de Tgn quase coincidentes, com amplitudes de Tgn da ordem de 24°C, enquanto o ar exterior apresentou amplitudes de Tgn da ordem de 20°C; b) as casas de vegetação sombreadas (LS e S) mostraram perfis de Tgn praticamente coincidentes, com amplitude da ordem de 15,5°C.

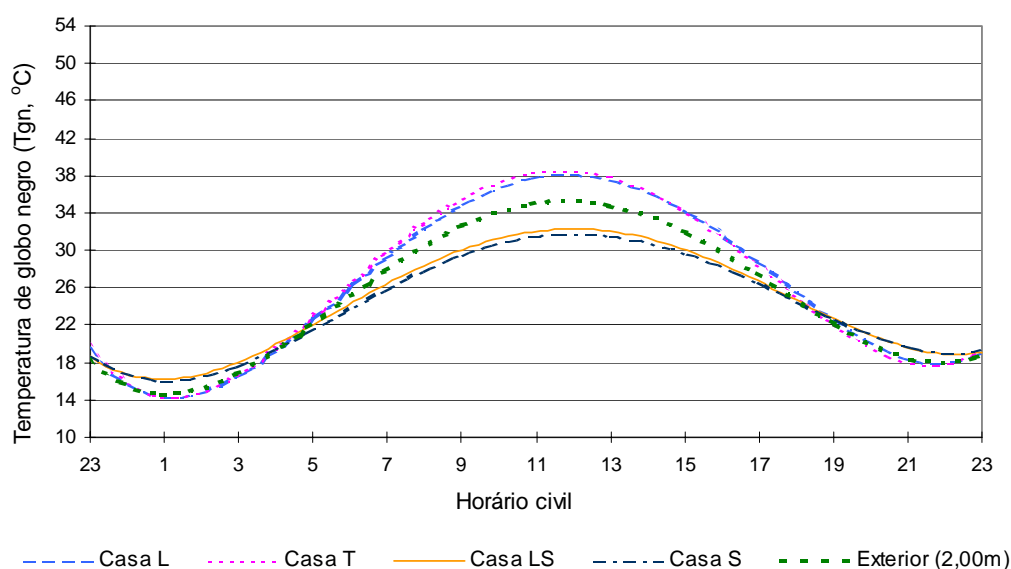


Figura 42 - Temperaturas de Globo Negro – sol encoberto – coleta: 0,30 m do solo – 1ª fase experimental – Ciclo de 24 horas.

Da análise do comportamento de Tgn durante as observações de 24 horas, depreende-se que as maiores variações no perfil de Tgn, entre as casas não-sombreadas e as sombreadas, deveram-se essencialmente à presença da tela de sombreamento que reduziu a quantidade de radiação que atingiu o interior das casas não-sombreadas. Entre as casas não-sombreadas, pode-se considerar que a diferença de amplitudes nos valores de Tgn das casas T e L ocorreu em razão da presença do lanternim da casa L.

De modo geral, tanto sob condições de sol descoberto como sob condições de sol encoberto, percebeu-se que a presença do lanternim teve uma pequena contribuição na redução da temperatura do ar e na temperatura

de globo negro no interior das casas de vegetação. Possivelmente a eficiência do lanternim tenha sido afetada pelas janelas com 2,00m de altura em todas as laterais das casas de vegetação, fechadas com telas (material poroso), induzindo a crer que a linha de pressões neutras situou-se à meia altura das janelas, permitindo que a maior parte dos fluxos de ar entrasse e saísse pelas laterais.

#### **4.2.2. Velocidade do ar**

Verificou-se, na análise dos dados coletados nos dois períodos experimentais, predominância de valores menores que 1,0m/s. Na primeira fase 10,21% e na segunda fase 17,55% apresentaram valores maiores que 1,0m/s. De um modo geral, pode-se considerar que predomina o deslocamento do fluxo de ar em regime turbulento, pois o perfil do movimento de ar foi caracterizado por baixas velocidades. Como o coeficiente de trocas de energia por convecção depende da velocidade do fluido (LAMBERTS *et al.* 1997), pode-se considerar que no interior dos quatro tratamentos houve reduzida contribuição da convecção nas trocas de energia.

Assim, para estudar o comportamento ambiental do sistema com relação à velocidade do ar, optou-se por uma análise qualitativa dos dados observados; para tal, foram classificados dados maiores que 1,0m/s, por direção. A partir dessa classificação, foram observadas as direções predominantes em cada horário de coleta e avaliado o comportamento da ventilação natural no sistema. Os fluxos predominantes e os percentuais apresentados em cada direção, durante as fases experimentais, estão representados nos diagramas das Figuras 43 e 44. As setas do diagrama de fluxos indicam os pontos atingidos nas referidas direções e o tamanho delas representa a quantidade de fluxos incidentes em cada ponto. Por exemplo, na Figura 43, os fluxos no sentido NW-SE, representados pela linha contínua, atingiram os pontos E1, L1, L2, L3, L4 etc.

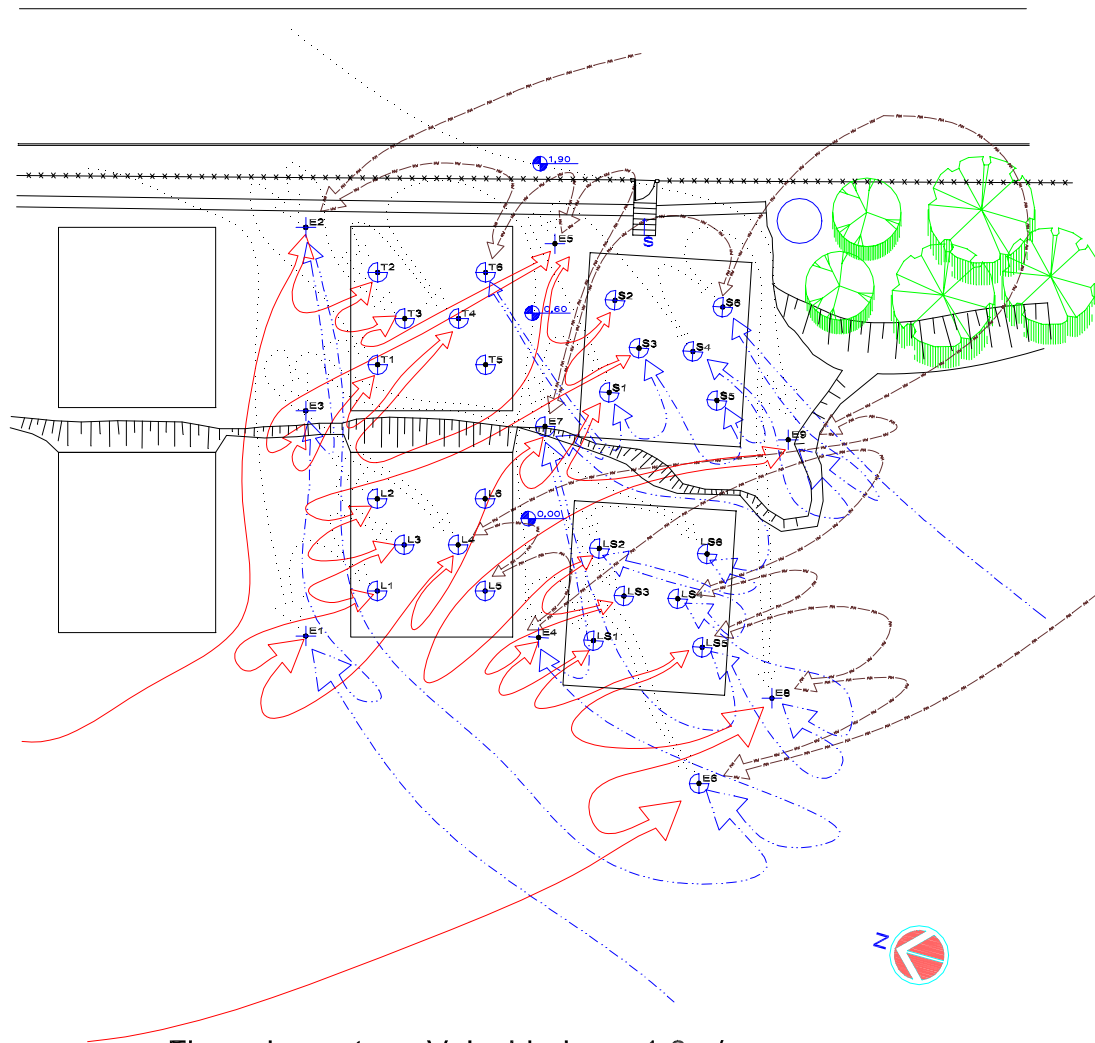
Na primeira fase experimental, Figura 43, percebeu-se: a) que a predominância do sentido NW-SE, principalmente de 9h às 15h, provavelmente decorre do sentido dos ventos dominantes na região de Viçosa (NW-SE), aliado à constituição do relevo do local do experimento (Figura 4), que oferece poucos obstáculos nessa direção; b) que as direções NE-SW e SW-NE apresentaram comportamentos alternados no decorrer do dia, sendo a direção

NE-SW mais freqüente no período da manhã (1,94%) e a SW-NE no período da tarde (1,32%); c) que na direção SE-NW o fluxo de vento maior que 1,0m/s foi bem inferior aos demais, provavelmente devido à influência da barreira estabelecida pelo conjunto de árvores ao sudeste do sistema. Em consequência, a casa de vegetação S foi menos favorecida ainda pela ventilação natural local, pois além de não usufruir integralmente dos ventos no sentido SE-NW, foi implantada em situação que desfavoreceu a penetração dos fluxos de ar nos sentidos NW-SE, NE-SW e SW-NE, ou seja, teve a ação dos ventos mascarada pelas outras casas de vegetação, pelo talude e pelo conjunto de árvores.

Na segunda fase experimental, Figura 44, observou-se a predominância das direções SW-NE e NW-SE, contendo cada uma respectivamente 5,42% e 5,23% do total de dados observados. A predominância da direção NW-SE veio confirmar as observações da fase anterior; já o aumento na contribuição dos ventos com sentido SW-NE possivelmente ocorreu devido ao período chuvoso que caracterizou esta fase experimental. Durante as observações em dias chuvosos, percebeu-se mudança no sentido dos ventos predominantes, que, nestes momentos, provinham do sul.

Confirmou-se aqui o observado na primeira fase: a) o sentido SE-NW foi o que ocorreu com menor freqüência; b) a alternância no predomínio dos sentidos NE-SW e SW-NE que ocorreram com mais freqüência, respectivamente, no período da manhã e no da tarde.

Ao analisar as quatro casas de vegetação como um conjunto, observa-se que a quantidade de fluxos de ar que penetrou no sistema pelas laterais NW e SW foi visivelmente superior à que penetrou nas laterais NE e SE, indicando as influências dos obstáculos da vizinhança, relevo, talude e conjunto de árvores existentes no contexto do local de implantação, nas direções Nordeste, Leste e Sudeste. A partir do observado, deve-se atentar na etapa de construção de casas de vegetação para a escolha de áreas que não sejam próximas a obstáculos à circulação dos ventos naturais no sistema implantado.



**Fluxo de ventos - Velocidades > 1,0m/s**  
 Período experimental: 30/12/99 a 24/01/00

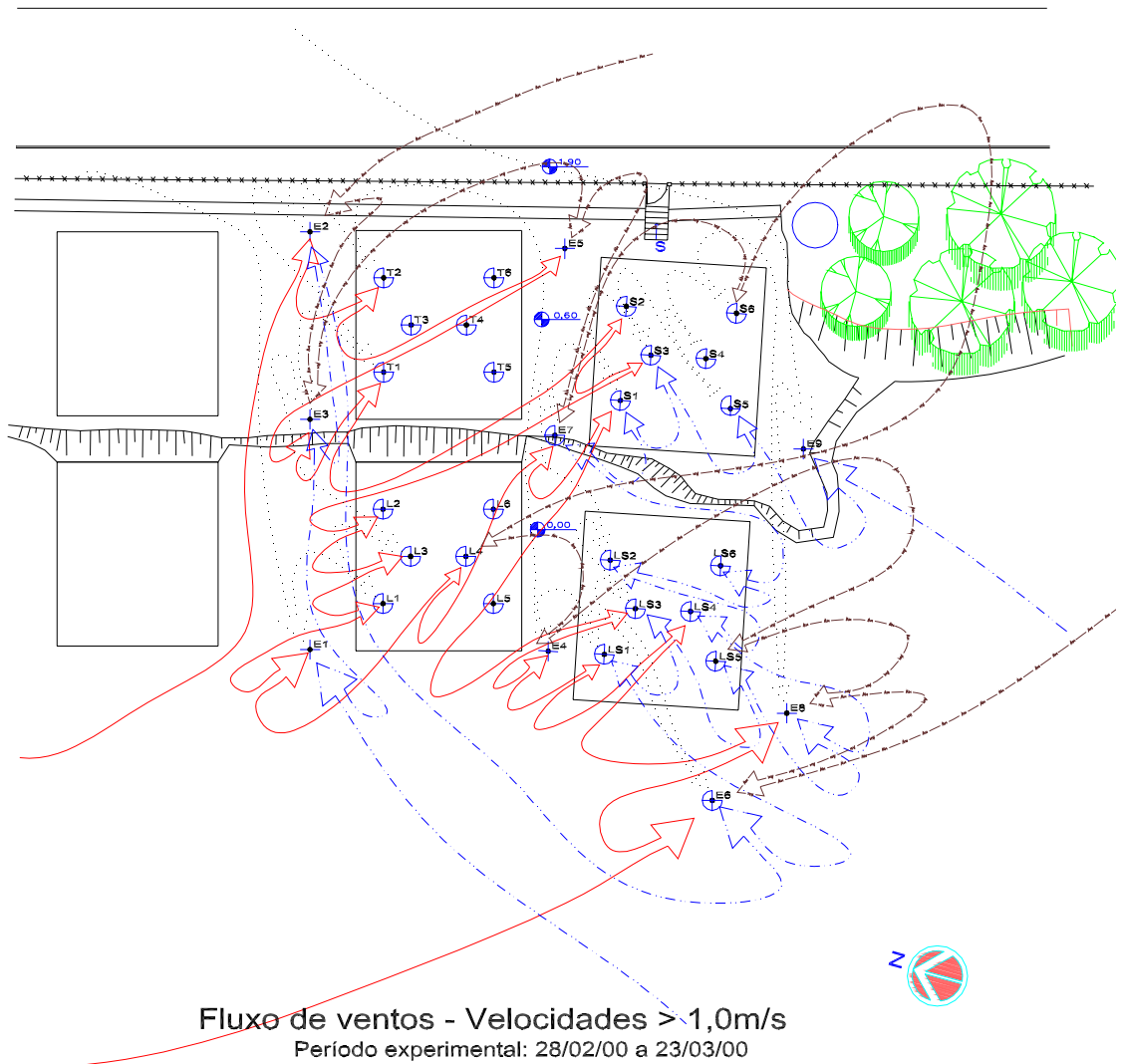
**Legenda:**

- Direção Noroeste-Sudeste (4,09%)
- ..... Direção Nordeste-Sudoeste (2,84%)
- - - - Direção Sudoeste-Nordeste (2,14%)
- . - . Direção Sudeste-Noroeste (1,14%)

Percentual de observações com velocidades superiores a 1m/s = 10,21 %  
 Observações com velocidades superiores a 1m/s por horário de coleta

Horário	NW-SE	NE-SW	SW-NE	SE-NW
7h	0,45%	0,55%	0,17%	0,17%
9h	0,83%	0,59%	0,17%	0,21%
11h	1,25%	0,80%	0,48%	0,28%
13h	0,66%	0,38%	0,48%	0,03%
15h	0,69%	0,28%	0,46%	0,14%
17h	0,24%	0,24%	0,38%	0,31%
<b>Total</b>	<b>4,12%</b>	<b>2,84%</b>	<b>2,14%</b>	<b>1,14%</b>

Figura 43- Fluxos de vento observados na primeira fase experimental.



**Legenda:**

- Direção Noroeste-Sudeste (5,23%)
- ..... Direção Nordeste-Sudoeste (4,69%)
- - - - Direção Sudoeste-Nordeste (5,42%)
- - - - Direção Sudeste-Noroeste (2,21%)

Percentual de observações com velocidades superiores a 1m/s = 17,55 %  
 Observações com velocidades superiores a 1m/s por horário de coleta

Horário	NW-SE	NE-SW	SW-NE	SE-NW	
9h	1,56%	1,47%	0,92%	0,55%	4,50%
12h	2,29%	1,84%	1,29%	0,37%	5,79%
15h	1,29%	0,92%	2,75%	0,83%	5,79%
18h	0,09%	0,46%	0,46%	0,46%	1,47%
Total	5,23%	4,69%	5,42%	2,21%	17,55%

Figura 44 - Fluxos de vento observados na segunda fase experimental.

### 4.2.3. Radiação luminosa

Com as isoluxes produzidas com os dados obtidos para iluminação, observou-se que no interior das quatro casas de vegetação houve similaridade nos padrões de distribuição de luz durante o tempo transcorrido na fase experimental, o que permitiu inferir que o efeito de vizinhança do conjunto no intervalo entre 9 e 15h não interferiu na distribuição de luz no interior das edificações, ou seja, qualitativamente as quatro edificações comportaram-se similarmente. Se pela manhã as casas de vegetação T e S receberam mais luz pela face leste que as casas de vegetação L e LS, na parte da tarde este fenômeno se inverteu pelo lado oeste, atingindo em maior quantidade as casas L e LS. No entanto, foram observadas diferenças quanto à quantidade de luz incidente no interior das edificações.

As médias dos dados coletados na primeira fase estão representadas na Figura 45. Observou-se que os comportamentos dos tratamentos sem sombreamento (casas de vegetação T e L) foram praticamente iguais, como pressupostamente esperado, devido à composição do fechamento. Nos horários de maiores alturas solares, sob céu descoberto, nesses tratamentos a radiação visível atingiu, a 0,30m do solo, valores até  $850 \text{ W.m}^{-2}$  e, sob céu encoberto, até  $300 \text{ W.m}^{-2}$ . Quando comparados ao recomendado por JIE e KONG (1998),  $240 \text{ W.m}^{-2}$ , esses valores foram bem superiores, o que permite considerar que com as soluções de fechamento da cobertura empregadas, as casas de vegetação T e L só seriam eficientes no verão se o sol ficasse totalmente encoberto de 9 às 15h.

Quanto aos tratamentos sombreados (casas de vegetação LS e S), no período de maior incidência de luz solar, eles apresentaram valores de até  $450 \text{ W.m}^{-2}$  de radiação do espectro visível, sob condições de sol descoberto, e até  $120 \text{ W.m}^{-2}$ , sob condições de sol encoberto; ou seja, considerando-se os resultados de JIE e KONG (1998), os valores encontrados estiveram aproximadamente na média das possibilidades de ocorrência das casas LS e S, entre 9h e 15h, relativamente aos níveis de radiação luminosa incidente na alface.

No intervalo de 11 às 13h, horários de maior altura solar, verificou-se que a composição da cobertura foi decisiva quanto ao recebimento de radiação luminosa pelas alfices nas casas T e L comparativamente às casas LS e S.

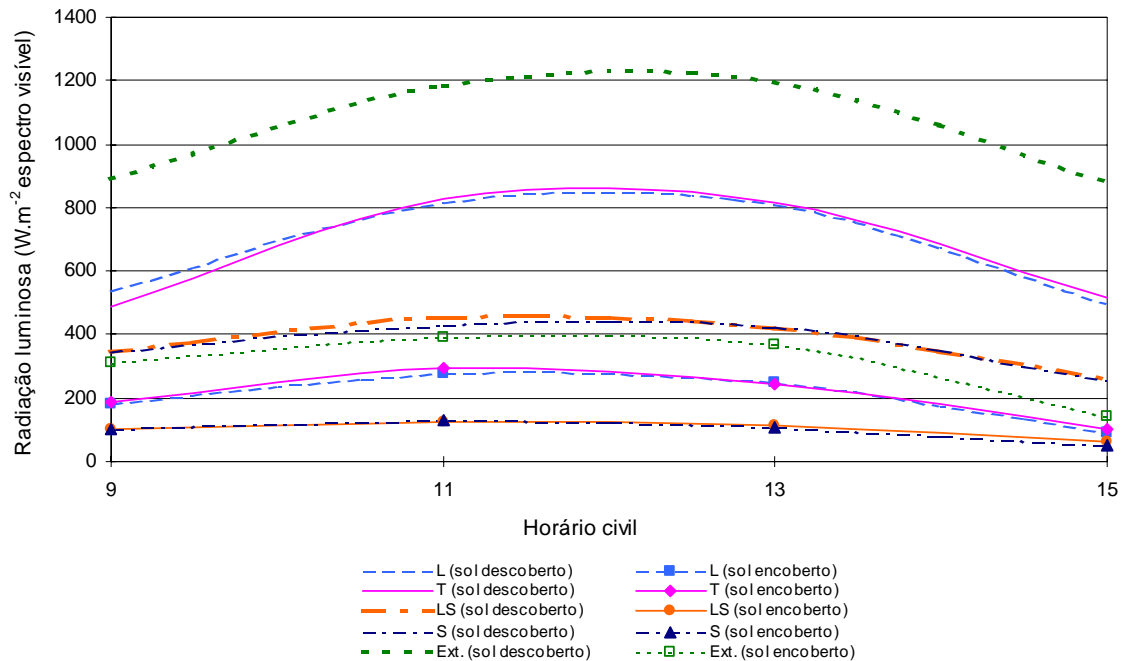


Figura 45 - Incidência média de radiação luminosa a 0,30m do solo na primeira fase experimental.

As observações de campo realizadas na segunda fase estão representadas na Figura 46. Essa fase experimental esteve sujeita a mais nebulosidade que a primeira, resultando em poucas observações realizadas sob sol totalmente descoberto e céu claro; as que ocorreram sob estas condições concentraram-se predominantemente na parte da tarde. Pode-se perceber que o comportamento sob essas condições foi aparentemente igual ao da primeira fase. As curvas para o caso de céu totalmente encoberto apresentaram valores menores que os encontrados na primeira fase, sendo que as alfices das casas T e L receberam nos horários de máxima incidência cerca de  $220 W.m^{-2}$  e as das casas LS e S aproximadamente  $100 W.m^{-2}$ . Essa diferença pode ser atribuída à: a) deposição de partículas sólidas sobre a superfície da cobertura, visível nessa segunda fase; b) condição de cobertura do céu que durante as medições nessa fase apresentou mais de 80% de nuvens com alta densidade, ou seja, provavelmente menor quantidade de radiação difusa tenha atingido as casas de vegetação durante essa fase.

Com base nos dados apresentados, é possível concluir que quanto à quantidade de luz que atingiu as alfices, as casas LS e S apresentaram-se mais adequadas para atender às necessidades de luz para o desenvolvimento normal da cultura, em condições de verão, por possuírem a tela de sombreamento compondo o fechamento da cobertura.

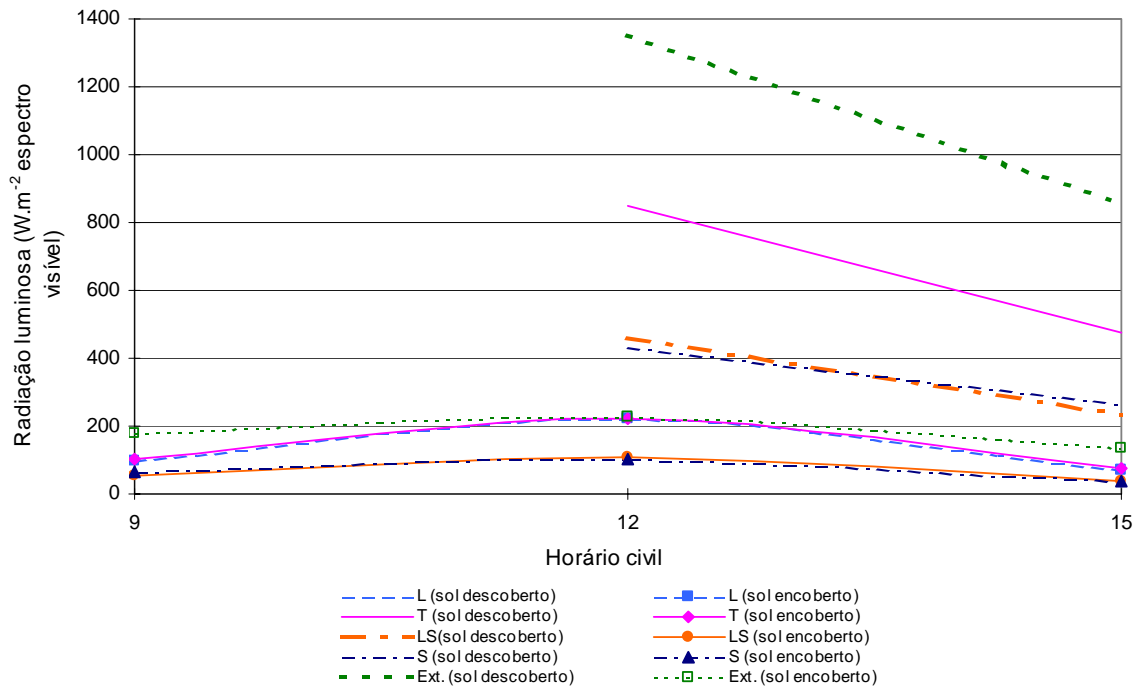


Figura 46 - Incidência média de radiação luminosa a 0,30m do solo na segunda fase experimental.

### 4.3. Avaliação das variáveis agronômicas

Uma forma de se verificar se os ambientes realmente atenderam às necessidades da cultura da alface foi a avaliação das variáveis agronômicas, que foram as respostas ao ambiente de cultivo. No caso, foram registradas as seguintes variáveis agronômicas: massa (MP) e diâmetro (DP) das plantas, número (NF) e massa (MF) das folhas, número de brotações (NB), comprimento (CC) e massa (MC) do caule e teor de umidade das folhas (UF).

Não foi realizada a análise estatística dos resultados agronômicos da primeira fase experimental, por causa da deficiência de compostos orgânicos no solo, identificada na casa de vegetação S (cobertura sombreada). Atribuiu-se essa deficiência do solo como consequência do desaterro realizado no período de sua construção. Entretanto, várias observações podem ser feitas quanto ao desenvolvimento dos vegetais durante a primeira fase experimental.

Observou-se que as plantas cultivadas nas casas de vegetação não-sombreadas, casas T e L, tiveram desenvolvimento mais rápido que as cultivadas em LS, tratamento com sombreamento e lanternim. Aos 24 dias do transplântio, as plantas cultivadas em T e L aparentemente já estavam em condições de ser absorvidas pelo mercado local, em vista da baixa qualidade das alfaces comercializadas nesse período do ano. No entanto, percebeu-se que, qualitativamente, a formação das plantas ainda não havia se completado, estando elas ainda na fase vegetativa. De acordo com VAZQUEZ (1986), a fase vegetativa da alface encerra-se quando a cabeça estiver completamente desenvolvida.

No período da colheita, 32 dias após o transplântio, observou-se também que as folhas das alfaces colhidas nas casas de vegetação T e L estavam mais espessas e com coloração mais escura que as colhidas nas casas de vegetação LS e S. Segundo FELIPPE (1986), essas características - coloração mais escura e maior espessura - podem indicar que os cloroplastos das folhas estão posicionados verticalmente e existem em maior número, caracterizando uma resposta das plantas à quantidade de radiação disponível ao desenvolvimento. Morfologicamente, a coloração verde escura das folhas da alface, segundo VAZQUEZ (1986), indica o início da formação e concentração de látex nas células foliares, consequência do início da mudança de estágio de desenvolvimento da alface, o que implica em alterações no sabor das folhas,

deixando-as amargas. A partir dessas informações, pode-se inferir que nos tratamentos não-sombreados a qualidade das plantas foi afetada pela aceleração dos estágios de desenvolvimento, ou seja, apesar de as plantas terem apresentado massa e diâmetro maiores que as cultivadas nas casas com sombreamento, o aspecto visual (coloração e espessura das folhas) e o sabor das folhas, experimentado durante a colheita, provavelmente foram afetados pela maior concentração de energia, luminosa e térmica, nas casas T e L comparativamente às casas LS e S.

No período da colheita registrou-se também o comprimento do caule das plantas cultivadas nas casas de vegetação não-sombreadas (T e L), cujo valor médio foi de 24,0 cm, valor bem superior ao encontrado na casa sombreada (LS), 16,8 cm. De acordo com Zink, citado por VAZQUEZ (1986), na fase vegetativa a alface possui caule curto, de até 15 cm; sabe-se que um maior comprimento do caule indica que a alface está passando da fase vegetativa para a reprodutiva. A partir disso, pode-se considerar que as casas não-sombreadas foram responsáveis pela maior aceleração no processo de desenvolvimento da alface.

É importante esclarecer que a aceleração do processo de desenvolvimento, durante o período de verão, não deve ser encarada como um fator tão benéfico quanto no de inverno, que é o período de menor incidência da radiação solar e para o qual vários estudos têm sido realizados, como o de RODRIGUES (1997), que procurou soluções ambientais eficientes para encurtar o período de cultivo. No verão, a aceleração do processo de desenvolvimento da alface traz conseqüências que desvalorizam o vegetal comercialmente: alongamento do caule, folhas escuras e mais amargas, surgimento de pendões, entre outras. Do ponto de vista de abastecimento do mercado consumidor, por mais que encurtar o ciclo de produção possa ser considerada um boa resposta, a qualidade do produto final deve ser levada em conta, sendo conseguida, sob o foco ambiental, com a adequação das instalações em cada período de cultivo (verão ou inverno) ao atendimento das necessidades e dos requisitos da cultura.

Quatro dias após a retirada das amostras, observou-se que a maioria das plantas que restaram nos canteiros das casas não-sombreadas (tratamentos T e L) apresentavam alongamento do caule e brotações bem longas; o mesmo fenômeno não foi observado nas casas de vegetação com

sombreamento (casas LS e S). Concluiu-se, portanto, que no período de verão as alfaces encontraram condições ambientais mais favoráveis nas casas de vegetação com sombreamento, permitindo que as plantas continuassem por mais tempo em condições de comercialização, sem a necessidade de se fazerem colheitas antecipadas e de qualidade inferior. Ao passo que nas casas não-sombreadas, o processo de colheita e comercialização das alfaces deveria ser rápido e poderia começar próximo aos 24 dias, para que o produtor não tivesse maiores prejuízos.

Antes do transplântio das mudas para a segunda fase experimental, foram feitas as devidas correções na composição orgânica do solo da casa S e conferida a composição do solo das outras casas de vegetação.

Para a avaliação das variáveis agrônômicas da segunda fase experimental, foi realizada a análise de variância para as características de diâmetro (DP) e massa (MP) das plantas, número (NF) e massa (MF) das folhas, número de brotações (NB), comprimento (CC) e massa (MC) do caule e teor de umidade das folhas (UF).

Pelo teste F, houve diferenças significativas, a 1% de probabilidade, nas médias dos valores do DP, MP, NF, MF, NB, CC e MC, sendo não significativa a diferença entre os tratamentos com relação a UF, cuja média foi de 96,06%.

O Quadro 4.1 apresenta as médias dos tratamentos (T, L, LS e S), os resumos dos resultados do teste de Tukey e os coeficientes de variação da análise de variância efetuados para os valores de DP, MP, NF, MF, MC e CC.

Quadro 4 - Valores médios de variáveis agrônômicas

Tratamento	Variáveis						
	DP (cm)	MP (g)	NF (uni)	MF (g)	MC (g)	CC (cm)	NB (uni)
T	36,35 ab	216,13 a	32,00 a	175,88 a	30,38 a	7,84 a	2,71 ab
L	37,70 a	225,63 a	28,28 b	178,38 a	28,25 a	6,51 b	3,18 a
LS	34,54 b	156,53 b	25,63 c	135,00 b	17,75 b	5,49 c	1,88 b
S	35,43 b	119,63 c	23,93 c	102,50 c	14,00 b	6,02 c	2,70 ab
Coeficiente de variação	10,10	21,27	12,98	20,04	32,10	20,26	68,82

Fonte: dados coletados na segunda fase experimental.

Nota: as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra em cada coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Considerando uma comparação agrupada dos tratamentos realizados nas casas não-sombreadas (T e L) com os tratamentos realizados nas casas

com sombreamento (LS e S), verificou-se diferença significativa para as características DP, MP, NB, MF, MC e CC, sendo as médias resultantes das casas T e L maiores que as de LS e S. Entretanto, as características MC e CC também apresentaram médias superiores nos tratamentos não-sombreados, Figura 4.25, o que indica, de acordo com VAZQUEZ (1986), que as plantas cultivadas nesses ambientes estavam propensas a mudar o estágio de desenvolvimento mais rápido que aquelas cultivadas nas casas sombreadas, ou seja, estavam sujeitas a alongarem o caule mais rápido.



Figura 47 - Caules das amostras colhidas na segunda fase experimental.

Assim, nos tratamentos não-sombreados, em que as plantas apresentaram maiores diâmetros, mais massa e maior número de folhas, as variáveis ambientais de cultivo influenciaram o desenvolvimento, por apresentarem maior energia termoluminosa que os tratamentos com sombreamento. Nos primeiros, ocorreram temperaturas máximas entre 25°C e 38°C, acompanhadas de médias de radiação luminosa de 220W.m<sup>-2</sup> até 850W.m<sup>-2</sup>, enquanto nos segundos, ou seja, com sombreamento, as temperaturas máximas permaneceram entre 23,5°C e 34°C, acompanhadas de radiação luminosa de 100W.m<sup>-2</sup> até 450W.m<sup>-2</sup>; ou seja, nos tratamentos com sombreamento, onde os valores de energia termoluminosa se aproximam das encontrados como ideais por JIE e KONG (1998), temperaturas entre 25°C e 39°C e radiação luminosa em torno de 240W.m<sup>-2</sup>, foi proporcionado às alfaces um ambiente de cultivo mais favorável à comercialização no período de verão.

Embora a UF não tenha sido significativamente influenciada pelos tratamentos, foram observadas diferenças na espessura e na coloração das folhas das alfaces plantadas nas casas de vegetação sombreadas e nas não-

sombreadas. Nas casas não-sombreadas, as plantas apresentaram-se mais espessas e com coloração mais escura que as cultivadas nas casas com sombreamento. Na comercialização dessas hortaliças, o aspecto visual da planta é um fator decisivo e está relacionado com o posicionamento dos cloroplastos nas folhas. Deduz-se, portanto, que as plantas cultivadas nas casas não-sombreadas possuíam mais cloroplastos e em posição mais vertical que nas produzidas nas casas com sombreamento.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

Na busca de soluções para propiciar sistemas de produção para vegetais de interesse comercial, uma das formas encontradas está em usar os ambientes construídos denominados casas de vegetação, que permitam manter algum ou total controle sobre as condições de exposição impostas pelos agentes ambientais, que, em cada local, são decisivos para o desenvolvimento de um vegetal.

Considerando-se que na arquitetura das casas de vegetação a cobertura exerce grande influência na admissão de radiação solar direta para o interior das casas de vegetação, saber projetar este componente arquitetônico é fundamental para que se possa garantir o desempenho ambiental que satisfaça às necessidades para o desenvolvimento do vegetal. Nesse sentido, o interesse desse trabalho centrou-se no estudo de soluções de fechamento da cobertura para casas de vegetação sob condições de verão, testadas com o usuário alface.

Portanto, a pesquisa objetivou examinar as condições ambientais de quatro casas de vegetação, iguais em concepção e geometria arquitetônica e diferentes nas soluções dos componentes de fechamento da cobertura, e avaliar o desempenho destes modelos na produção de alface em períodos de verão, procurando-se identificar uma alternativa eficiente para solucionar o problema de desconforto dos vegetais e a redução da qualidade da produção em casas de vegetação, durante os períodos de verão.

A pesquisa foi conduzida no Setor de Construções Rurais e Ambiente, a

partir do trabalho realizado por RODRIGUES (1997). O experimento de campo foi conduzido na Área Experimental de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, no período de dezembro de 1999 a março de 2000.

Foram usadas quatro casas de vegetação, cada uma sendo constituída de dois módulos retangulares (3,5m x 8,0m) interligados, totalizando 56m<sup>2</sup> (7,0m x 8,0m). A cobertura semicilíndrica foi composta por duas estruturas de metal com diâmetro de 3,5m, uma em cada módulo. As laterais foram fechadas até 0,50m do solo com lona plástica de 150 micras e de 0,50 a 2,00m com tela de 50% de sombreamento. Duas casas de vegetação eram remanescentes do teste de RODRIGUES (1997), T e L, e duas outras foram construídas para a presente pesquisa, LS e S, todas com iguais fechamentos laterais e orientação. As casas de vegetação distinguiram-se na composição de fechamento da cobertura, por pressuposto preliminar considerar que esta era a principal causa influente nas condições de exposição aos agentes ambientais relevantes, admitidos como sendo a insolação e a ventilação. Para fins de avaliação de desempenho ambiental devido à composição da cobertura, foram considerados quatro tratamentos: (T) casa de vegetação testemunha, com fechamento em lona plástica na cobertura; (L) casa de vegetação com fechamento em lona plástica e com componente de ventilação (lanternim); (LS) casa de vegetação com fechamento composto por lona plástica sob tela de sombreamento, associado a componente de ventilação (lanternim); e (S) casa de vegetação com fechamento composto por lona plástica sob tela de sombreamento.

Os vegetais, usuários das casas testadas, foram alfaces da variedade Regina. As mudas foram produzidas em bandejas de isopor com substrato agrícola e transplantadas para os quatro canteiros de cada casa de vegetação, após o lançamento de quatro pares de folhas definitivas, com espaçamento de 0,25 m entre plantas. Foram feitas análises dos solos e as correções necessárias em cada casa de vegetação.

O experimento de campo compreendeu duas fases distintas de plantio de alface no solo: na primeira, os dados foram coletados de três em três dias, a cada duas horas, de 5 às 20 horas, compreendendo nove dias de observações, abrangendo a 1<sup>a</sup>, a 5<sup>a</sup> e a 9<sup>a</sup> um ciclo de 24 horas; na segunda, os dados foram coletados de quatro em quatro dias, a cada três horas, de 6 às 18 horas, compreendendo sete dias de observações.

Durante as fases experimentais, foram feitas coletas manuais sistemáticas de dados, dentro e fora das casas de vegetação, das variáveis ambientais temperatura de bulbo seco (Tbs), umidade relativa (UR) e velocidade do ar, temperatura de globo negro (Tgn) e iluminação. Ao final de 32 dias de cultivo, as amostras foram colhidas, sendo registradas as variáveis agronômicas diâmetro e peso das plantas, número, peso, matéria seca das folhas e umidade das folhas, comprimento e peso do caule e número de brotações.

A partir dos resultados chegaram-se às seguintes conclusões:

- a) As casas não-sombreadas não atenderam às necessidades termoluminosas das alfaces: apresentaram temperaturas máximas entre 25°C e 38°C, e valores médios de radiação luminosa de 220 W.m<sup>-2</sup> (céu nublado e sol encoberto) até 850W.m<sup>-2</sup> (céu limpo e sol descoberto). Tais valores são bem superiores aos considerados como ideais para a cultura da alface [segundo JIE e KONG (1998), para ambientes com temperaturas entre 25 °C e 39 °C a quantidade de radiação ideal está em torno de 240 W.m<sup>-2</sup>]
- b) As casas sombreadas foram mais eficientes no atendimento das necessidades termoluminosas das alfaces: apresentaram temperaturas máximas entre 23,5 °C e 34 °C, e valores médios de radiação luminosa de 100 W.m<sup>-2</sup> (céu nublado e sol encoberto) até 450W.m<sup>-2</sup> (céu limpo e sol descoberto). Atribui-se a redução de temperatura e de radiação luminosa em seus interiores à presença da tela de sombreamento na cobertura; todavia, a obstrução de 50% da radiação incidente não foi suficiente para fornecer essas variáveis dentro da faixa considerada ideal para a alface. Apesar disso, como pressupostamente esperado, pode-se afirmar que as casas de vegetação sombreadas apresentaram melhor desempenho ambiental, comparativamente às não-sombreadas, e proporcionaram um ambiente mais confortável ao desenvolvimento da cultura da alface no verão.
- c) Entre os tratamentos de igual sombreamento, não foi percebida diferença significativa no uso do lanternim. Possivelmente, o desempenho do lanternim tenha sido afetado pela porosidade do material de fechamento lateral (tela de sombreamento) das casas de vegetação e pela formação do plano neutro de pressão estática, o que permitiu a entrada e saída do ar pelas janelas laterais.

- d) agente ambiental que mais influenciou o comportamento das casas de vegetação no período de verão foi a quantidade de radiação que atingiu o seu interior. Uma alternativa eficiente para adequar o uso da casa de vegetação testada por RODRIGUES (1997) à produção de alface em condições de verão é a colocação de tela de sombreamento sobre a cobertura.
- e) As alfaces colhidas nas casas de vegetação com sombreamento sobre a cobertura, embora tenham apresentado massa e diâmetro da planta inferiores às colhidas nas casas de vegetação não-sombreadas, apresentaram coloração mais clara, espessura mais fina, caule mais curto e menos pesado que as alfaces dos tratamentos não-sombreados. Com base nessas características agrônômicas, as alfaces dos tratamentos sombreados foram classificadas de qualidade superior para o consumo e a comercialização no período de verão.

### **5.1. Recomendações**

Com base nas observações realizadas nas duas fases experimentais, para o prosseguimento da linha de pesquisa em ambiência em casas de vegetação, recomendam-se trabalhos que estudem:

- a) outros percentuais de obstrução da radiação incidente no interior de casas de vegetação, visando atenuar a temperatura do ar. Testar as casas de vegetação não somente com a cultura da alface, mas também com outras culturas que também apresentem problemas na produção dentro de casas de vegetação durante o período de verão. Feito isso, pode-se recomendar ao agricultor o uso de uma tela de sombreamento que possibilite um melhor desenvolvimento de outras culturas, além da alface, na mesma casa de vegetação; e,
- b) em modelos reduzidos, estudar um melhor dimensionamento das aberturas do lanternim, para melhorar sua eficiência na redução da temperatura interna em casas de vegetação. Testar esses modelos com as fachadas frontais fechadas e com as repetições dos módulos mais aproximadas às encontradas na produção comercial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CASSILHAS, A. M. **Determinação da eficácia luminosa natural e da variação das condições de exposição de superfícies transparentes à luz.** Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, PIBIC, CNPq, 2000, 48p. (Relatório final)
- COSTA, E. C. **Arquitetura ecológica. Condicionamento térmico natural.** São Paulo: Edgard Blücher, 1982, 264p.
- DANTAS, F. F. **Estudo do termossifão em galpões para frangos de corte com cobertura de telhas cerâmicas e de cimento-amianto.** Viçosa-MG: UFV, 1995. 62p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- FELIPPE, G. M. Desenvolvimento. In: FERRI, M. G. (coord.). **Fisiologia Vegetal.** São Paulo: EPU; EDUSP, 1986. v.2, p.01-37 .
- FELIPPE, G. M. Fotomorfogênese. In: FERRI, M. G. (coord.). **Fisiologia Vegetal.** São Paulo: EPU; EDUSP, 1986. v.2, p.231-280.
- JIE, H., KONG, L.S. Growth and photosynthetic responses of three aeroponically grown Lettuce cultivars (*Lactuca sativa L.*) to different rootzone temperatures and growth irradiances under tropical aerial conditions. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.73, n. 2, p. 173-180, 1998.
- LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** Porto Alegre - RS: PW, 1997. 192 p.
- NAGAI, H. Alface. In: FAHL, I. L., CAMARGO, M. B. P., PIZZINATTO, J. L., BETTI, J. A., MELO, A. M. T., FURLANI, A. M. C. (Eds). **Instruções Agrícolas para as**

- principais culturas econômicas**. 6 ed. Campinas-SP: Instituto Agronômico de Campinas, 1998. p.173-174.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425p
- ORNSTEIN, S. W., ROMERÓ, M. **Avaliação pós-ocupação (APO) do ambiente construído**. São Paulo: Studio Nobel; EDUSP, 1992.223p.
- PAIVA, M.C. **Produção de hortaliças em ambiente protegido**. Mato Grosso: SEBRAE, 1998. 78p.
- PANDURO, A. M. R. **Análise do comportamento da alface (*Lactuca sativa L.*) sob diferentes condições de iluminamento**. Piracicaba-SP: ESALQ; USP, 1986, 129p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) –Universidade de São Paulo, 1986.
- REICHARDT, K. A água: absorção e translocação. In: FERRI, M. G. (coord.). **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: EPU; EDUSP, 1979. v.1, p. 3 -24.
- RIVERO, R. **Arquitetura e clima. Acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre-RS: D. C. Luzzatto Editores, 1985. 240 p.
- RODRIGUES, J. L. M. T. C. **Projeto, construção e teste de casa de vegetação para a produção de alface na Região de Viçosa-MG**. Viçosa-MG: UFV, 1997. 59p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- SGANZERLA, E. **Nova agricultura, a fascinante arte de cultivar com os plásticos**.Porto Alegre-RS: Plasticultura Gaúcha, 1997. 297p.
- TIBIRIÇÁ, A. C. G. **Janelas: análise sistêmica para desempenho ambiental**. Florianópolis-SC: UFSC, 1997. 2v. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.
- TRANI,P.E. e RAIJ, B.V. Hortaliças. In: RAIJ, B.V, CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. A., FURLANI, A. M. C. (Eds). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas-SP: Instituto Agronômico de Campinas, 1996. p.155-186. (Boletim Técnico nº 100).
- VAZQUEZ, M. S. V. **Estudo comparativo da morfogênese foliar em seis cultivares de alface (*Lactuca sativa L.*)**. Piracicaba-SP: ESALQ; USP, 1986, 129p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, 1986.
- VIANELLO, R. L., ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa; Imprensa Universitária, 1991. 449p.
- WIEN, H. C. Lettuce. In: WIEN, H. C. **The physiology of vegetable crops**. Nova Iorque: Cab International, 1997.