



## CONTROLE TÉRMICO DE AMBIENTES DE ESTUFAS PARA AGRICULTURA

Paulo Smith Schneider

[pss@mecanica.ufrgs.br](mailto:pss@mecanica.ufrgs.br)

Horácio Antônio Vielmo

[vielmoh@mecanica.ufrgs.br](mailto:vielmoh@mecanica.ufrgs.br)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica, GESTE

**Resumo.** *Este trabalho descreve uma seqüência de ações de pesquisa voltadas à melhoria do condicionamento térmico de estufas para agricultura. Alguns sistemas e arranjos visando a calefação do ambiente são descritos, incluindo um sistema solar passivo e dois outros ativos, com alimentação a óleo e a gás e com diferentes circuitos de distribuição do calor. O estudo de soluções conservativas é apresentado, incluindo seleção de materiais de cobertura. O acompanhamento experimental é mostrado e conclui-se com uma série de recomendações para a construção de estufas, fruto da experiência adquirida.*

**Palavras-chave:** *Estufas, Aquecimento de ambientes, Comportamento térmico de ambientes*

### 1. INTRODUÇÃO

O cultivo de espécies vegetais em ambientes protegidos é uma prática empregada mundialmente por ser uma alternativa que aumenta a eficiência da produção, e para casos de climas adversos é a saída para viabilizá-la. Com ele busca-se fugir da dependência do clima exterior e a criação de condições ambientais internas que se aproximem daquelas que proporcionam maior produtividade às plantas. Conhecida como Plasticultura, esta modalidade de produção pode representar uma importante alternativa econômica para o agricultor, que passa a depender menos das condições climáticas externas e a se beneficiar do resultado de uma produção mais estável e constante. Seu emprego abrange a produção de espécies comestíveis como frutas e hortaliças, e de plantas ornamentais, com uma variedade muito grande de atividades específicas orientadas ao desenvolvimento de mudas, de plantas de corte, de plantas em vasos, entre outras. O clima mais rigoroso do Sul do Brasil tem levado a um interesse crescente no emprego de estufas, chegando em alguns casos a modificar o perfil econômico de algumas comunidades. O impacto da introdução da Plasticultura no Estado do Rio Grande do Sul é muito grande, sendo uma alternativa acessível a produtores de diversos portes financeiros, e tem recebido atenção de setores governamentais e classistas.

O objetivo deste trabalho é de apresentar resultados de pesquisas que estão em andamento em estufas localizadas na serra do Rio Grande do Sul onde se buscam alternativas para o condicionamento térmico destes ambientes. Serão apresentados resultados de observações expe-

rimentais em estufas convencionais e em outras aquecidas, o problema de seleção de materiais para cobertura será abordado e uma série de recomendações construtivas serão apresentadas.

## **2. DESCRIÇÃO DAS ESTUFAS**

As estufas mais simples são feitas a partir de uma estrutura de madeira, metal ou canos plásticos e cobertas por uma camada de filme plástico ou vidro, onde as condições do ambiente interno evoluem livremente e sem controle. Como primeiro passo para alcançar maior controle sobre o ambiente recorre-se a instalação de dispositivos de proteção ou de manejo, buscando a proteção ao sol, ao vento, a melhoria da ventilação entre outros. As estufas mais sofisticadas tentam garantir condições ambientais consideradas ideais para a fisiologia vegetal, podendo ser dotadas de equipamentos de climatização artificiais, tais como ventiladores, aspersores e aquecedores.

As variáveis climáticas que afetam o desenvolvimento de uma espécie vegetal são as mesmas dentro ou fora de uma estufa. O que o ambiente protegido de uma estufa tem de diferente é sua capacidade de acentuar, atenuar ou neutralizar certas variáveis, seja com o emprego da energia disponível no ambiente (passiva) ou com o auxílio de fontes externas (ativa) (Santamouris et al, 1994).

As variáveis ou parâmetros climáticos mais importantes são a radiação solar, em suas componentes direta e difusa, a temperatura e a umidade do ar e do solo, a velocidade do vento e a precipitação pluviométrica. A proteção aos ventos e às chuvas é o efeito mais imediato do uso de um ambiente protegido, alcançado pelas estruturas mais rudimentares. Deve-se observar que a proteção à chuva não se dá de forma completa, já que um período prolongado de chuvas causa um alto teor de umidade no interior das estufas passivas. O aporte externo de maior importância é a radiação solar, responsável pela potência térmica cedida ao ambiente, bem como de parcelas de radiação espectrais que atingem a fisiologia vegetal de forma particular para cada espécie. A cobertura das estufas pode atuar sobre a intensidade das duas componentes, de forma a atenuá-las ou de converter parte da componente direta em difusa. A temperatura e a umidade do ar são variáveis climáticas que atuam fortemente sobre o comportamento das plantas e determinam outros aspectos ambientais, tais como o aparecimento de doenças e pragas. O mesmo também pode ser dito em relação à temperatura e a umidade do solo (Sentelhas et al., 1995).

## **3. PROBLEMA OBSERVADO**

O estudo foi iniciado quando em 1996 produtores rurais (Agro Pecuária Clarice Ltda. e a Associação dos Produtores de Rosas da Serra Gaúcha) procuraram soluções para o comportamento térmico de suas estufas de cultivo de rosas. Foi observado que suas estruturas não ofereciam proteção suficiente, frente às baixas temperaturas do inverno da serra gaúcha (região dos Campos de Cima da Serra), e que o abaixamento da temperatura do ambiente interno levava à uma redução drástica da produtividade das plantas e favorecia o aparecimento de pragas e doenças, em função da elevação da umidade relativa. Numa situação extrema, e não rara, a ocorrência de geadas provocava o congelamento das plantas e a interrupção da produção por longos meses.

## **4. SOLUÇÕES PROPOSTAS**

A primeira fase do projeto (Schneider e Vielmo, 1998) teve como objetivo principal encontrar uma solução para o problema do congelamento das roseiras, e que este fosse implantado de forma rápida e que atendesse a produtores com poucos recursos financeiros. A solu-

ção encontrada foi do tipo passiva, onde tratou-se de aumentar a capacidade de uma estufa de teste de 500 m<sup>2</sup>, chamada de estufa solar, de acumular o calor fornecido pelo sol ao longo do dia e devolvê-lo à noite. O produtor dispunha de 10 estufas de 500 m<sup>2</sup> cada (fig. 1.a) e uma delas (estufa solar, fig. 1.b) foi modificada com a implantação de toneis coletores e acumuladores de energia solar, instalados nas fachadas norte e sul. A instalação de toneis na fachada sul seguiu a idéia de prover uma guarda térmica e de amortecer os picos de temperatura. Foram recuperados tonéis usados de 200 litros, pintados de preto e instalados sobre berços de madeira que os destacam do solo.

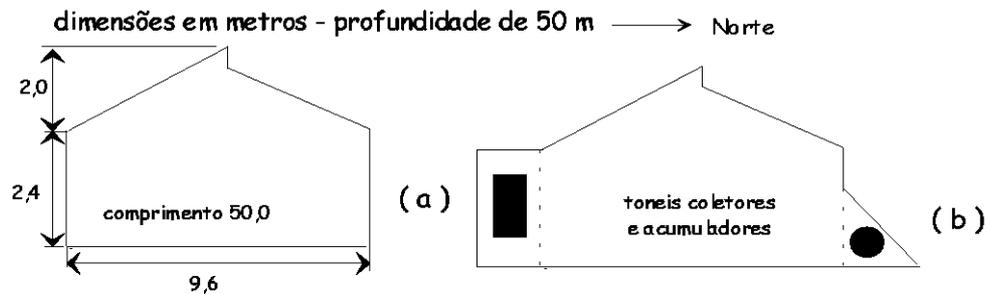


Figura 1- Vista em corte da (a) estufa testemunha e da (b) estufa solar

Junto à esta ação, seguiu-se a monitoração automática desta estufa solar e de outra não modificada, dita estufa testemunha, além das condições meteorológicas do local. O sistema de aquisição (fig. 2) foi montado com um DataLogger de 16 canais (Novus NE8000) instalado em uma das estufas, em comunicação com um PC distante de cerca de 300 metros, rodando um supervisor de aquisição da Elipse.

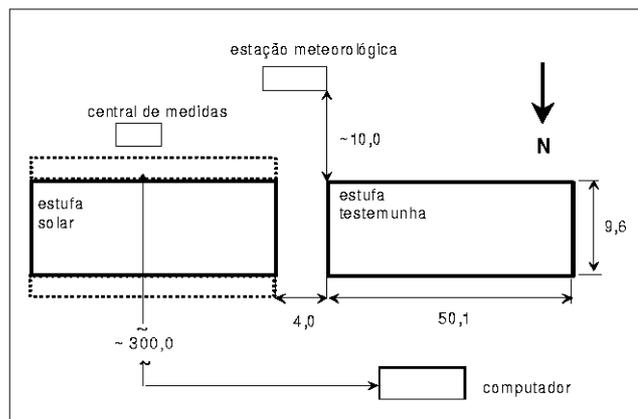


Figura 2- Montagem do sistema de aquisição no local

A figura 3 mostra a evolução das temperaturas das estufas testemunha e solar frente a temperatura do ar exterior. Nota-se que com a introdução dos tonéis acumuladores obteve-se algum ganho em temperatura no ambiente. Situações não registradas pelo sistema de aquisição mostraram que a instalação de tonéis conseguiu evitar o congelamento do ambiente da estufa solar de em madrugadas com formação de geada, bem como provoca aumento de produtividade nos canteiros de rosas próximos a esses tonéis. A baixa acumulação do calor disponível ao longo do dia fica evidente pela fraca inércia do sistema, que responde rapidamente aos estímulos externos. É possível se observar que a temperatura do ar das estufas ultrapassa a do ar exterior ao longo do dia, mas acaba sendo inferior ao exterior durante a madrugada. Este fenômeno é chamado de "inversão térmica" pelos agrônomos (Sentelhas et al, 1995), e tem

como responsável a ausência de uma barreira mais efetiva da cobertura plástica a perda de calor na faixa das ondas longas.

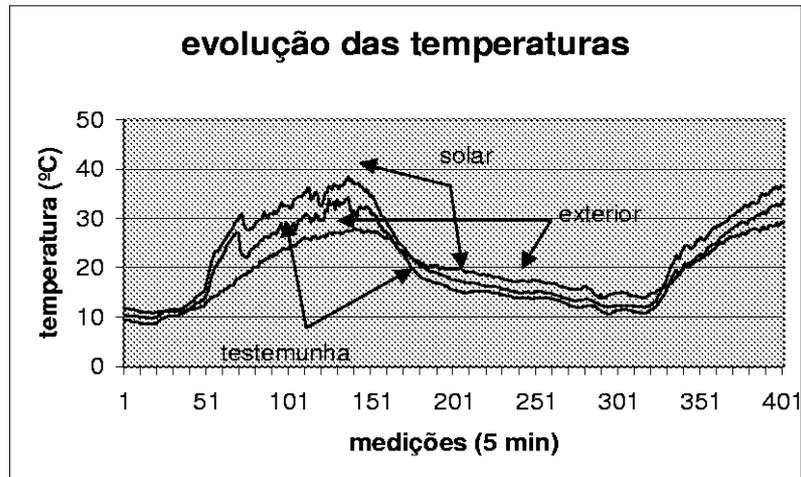


Figura 3- Evolução das temperaturas das estufas testemunha e solar e do ar exterior.

Buscando conhecer melhor as propriedades dos plásticos para agricultura disponíveis em nosso mercado, foi realizada uma série de testes voltados à determinação da transmissividade nas faixas de ondas curtas (0,2 a 2,5  $\mu\text{m}$ ) e ondas longas (8,0 a 12,0  $\mu\text{m}$ ) [Schneider e Viello, 1999]. Todos os testes trazem em comum a comparação de diversos filmes frente a amostras do plástico mais barato e mais amplamente empregado em coberturas de estufas, que será chamado de plástico de referência ou "verde", devido a sua pigmentação. Trata-se de um polietileno de baixa densidade –PEBD– acrescido de aditivos que buscam bloquear apenas a ação dos raios ultravioleta (compostos de Níquel, Benzofenona e HALS, empregados sozinhos ou em combinação).

#### 4.1 Faixa de ondas curtas

Foram escolhidas 3 amostras de plástico de referência, apresentados na figura 4.

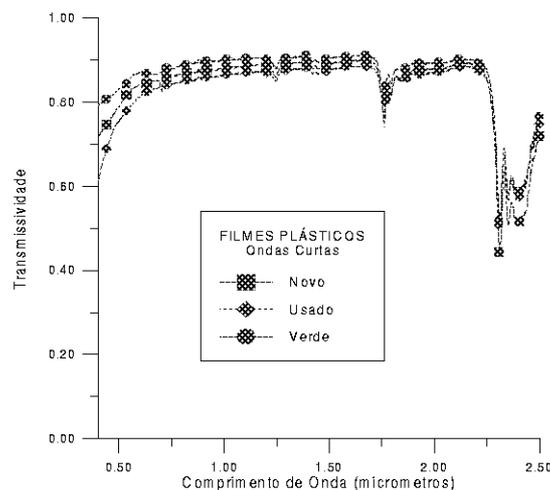


Figura 4- Transmissividade espectral na faixa visível de 0,3 a 2,5  $\mu\text{m}$

As amostras são compostas por uma nova sem pigmentação, outra com 1,5 anos de uso e sem pigmentação e uma terceira nova mas com pigmentação verde. A figura 4 mostra que suas transmissividades espectrais são muito semelhantes, apresentando valores próximos a 0,8 para o espectro visível. O plástico já é considerado usado com cerca de 1,5 anos devido a perda de suas características mecânicas, e não por um aumento de opacidade.

## 4.2 Ondas longas

Para a pesquisa de plásticos com comportamentos diferenciados nesta faixa foram escolhidas 4 amostras de plásticos cujos fabricantes alegam ser destinados para a conservação do calor em estufas, sempre comparadas ao plástico verde ou de referência. Buscou-se conhecer o comportamento destas amostras também para a faixa de ondas curtas, mas os testes não forneceram resultados confiáveis. A figura 5 destaca o intervalo compreendido entre 8,0 e 12,0  $\mu\text{m}$ , por tratar-se do espectro de radiação térmica dos corpos emissores da estufa.

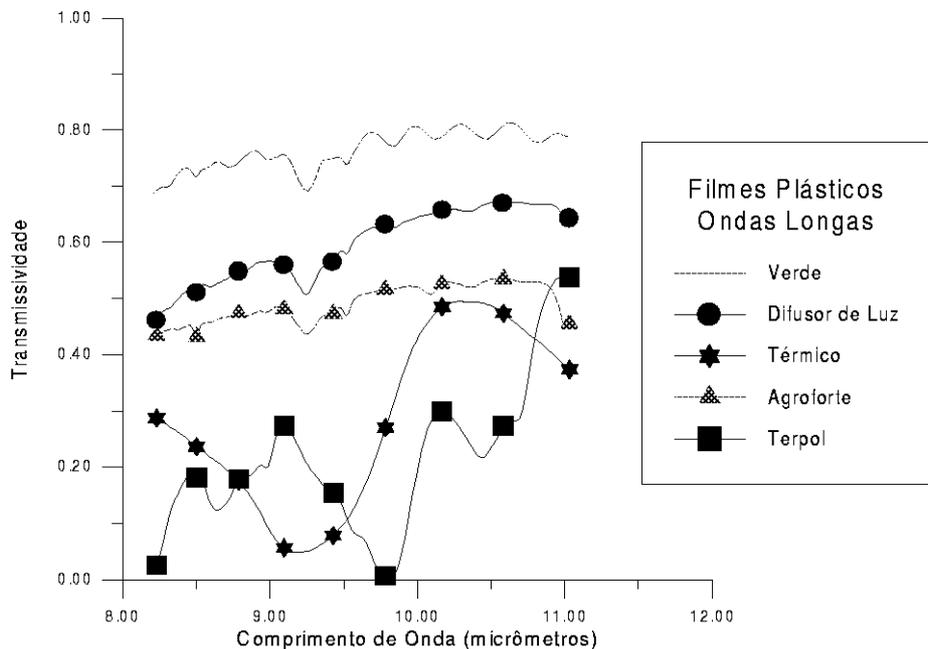


Figura 5- Transmissividade espectral na faixa de 8 a 12  $\mu\text{m}$

Observando-se a figura pode-se propor a divisão dos filmes em dois grupos. O primeiro é composto pelos filmes *Verde*, *Difusor de Luz* e *Agroforte*, cuja transmissividade apresenta um perfil semelhante e aparentemente não são dotados de algum aditivo que aja de forma espectral. Os valores de transmissividade dos filmes *Difusor de Luz* e *Agroforte* são menores que os do filme *Verde*. O segundo grupo é composto pelos filmes *Térmico* e *Trifilm*, que apresentam transmissividades variadas segundo o comprimento de onda, além de possuírem os menores valores de transmissividade entre todas as amostras.

Conclui-se que o mercado nacional dispõe de materiais capazes de melhorar o desempenho térmico das estufas, mas que não encontra um emprego mais difundido pelo desconhecimento de suas potencialidades pelos próprios fabricantes.

## 4.3 Calefação

Os resultados até aqui obtidos animaram uma nova fase de projeto, onde houve um avanço sobre a calefação artificial dos ambientes, visando agora o aumento de produção. Buscou-

se projetar um circuito de distribuição de calor eficiente e que fosse capaz de aquecer apenas as plantas, e evitasse as perdas do aquecimento do restante do volume do ambiente. Aliado a essa limitação soma-se a necessidade de projetar-se um circuito barato, de fácil construção e manutenção, com materiais de uso comum do produtor. Optou-se pelo uso de mangueiras de irrigação, resistentes até 60 °C, estendidas ao longo dos canteiros das roseiras e simplesmente apoiadas sobre o solo (fig. 6).

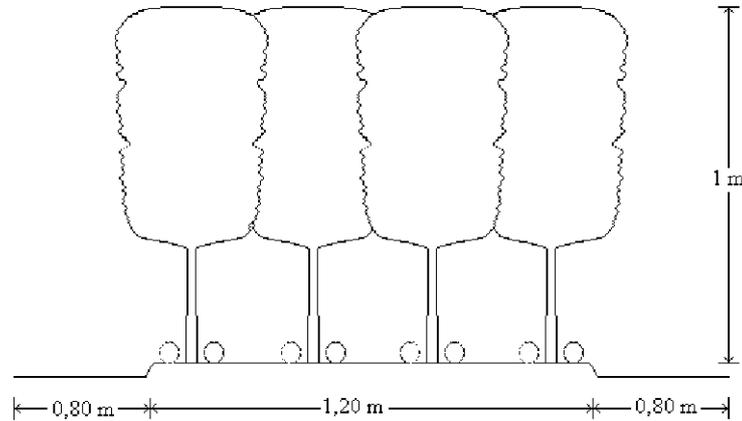


Figura 6- Circuito de distribuição de água aquecida com mangueiras de irrigação

O restante do sistema de aquecimento é constituído por uma caldeira, uma bomba e um vaso de expansão, que além de regular o nível de água do circuito é responsável pela expulsão de bolhas de ar, prejudiciais ao funcionamento da caldeira. Optou-se pela instalação de dois sistemas de calefação em duas estufas, sendo que as diferenças entre eles foram dadas pelo tipo de caldeira e a montagem dos circuitos de distribuição. Em uma das estufas montou-se um circuito duplicado em paralelo, onde cada setor seria responsável por metade da carga térmica requerida pelo ambiente. Além disso, as diferentes passagens pelos canteiros de roseiras de um mesmo setor foram interligados em paralelo, para reduzir a perda de carga do circuito. Na prática esta opção se mostrou de montagem muito trabalhosa e apresentou falhas de circulação do fluido, provocado pela criação de ramos preferenciais gerados pelos desníveis do solo. O segundo circuito já foi montado em um único setor, onde cada canteiro recebeu 8 mangueiras em paralelo, e os canteiros por sua vez foram interligados em série. Tomou-se o cuidado de abastecer inicialmente os canteiros mais próximos das fachadas Norte e Sul, para depois progredir em direção ao centro da estufa, onde foi instalada a caldeira. Optou-se também por dois tipos de caldeiras, uma usada em sistemas de calefação de ambientes, com potência de cerca de 40 kW, acompanhada de um reservatório de óleo de 5 000 litros, e outra formada pela adaptação de dois aquecedores de passagem residenciais, montados em paralelo, com 15 kW de potência cada, alimentados à gás GLP.

Esta segunda fase de projeto envolveu 4 estufas: 2 com aquecimento artificial, 1 estufa solar e 1 testemunha. O sistema de aquisição de dados também foi alterado, passando-se a trabalhar com placas de condicionamento dos sensores diretamente embarcadas num PC, agora lendo sensores de temperatura do tipo semicondutores em lugar dos PT100 da primeira fase, e com o emprego do programa HPVEE para aquisição e tratamento dos dados. A figura 7 mostra o comportamento das estufas aquecidas, e percebe-se que a calefação da estufa "Broilo", dotada de uma caldeira convencional, consegue níveis de temperatura mais elevados que a estufa "GeraTherm", equipada com os aquecedores de passagem. A caldeira convencional tem potência maior que os aquecedores, mas não se descartam problemas de estanqueidade na estufa.

## Evolução da temperatura 27 e 28/08/98

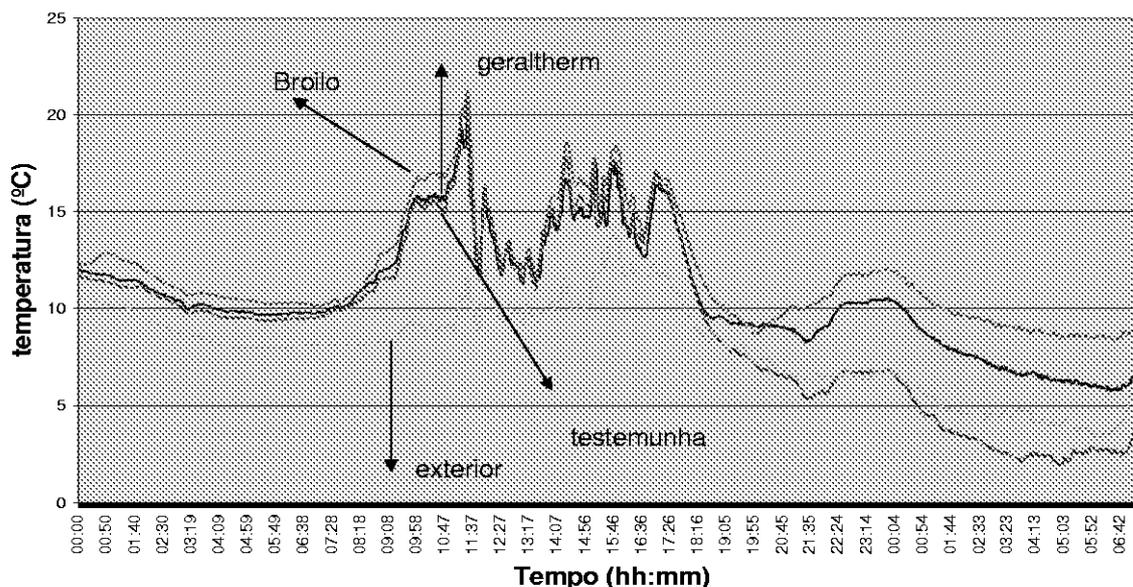


Figura 7- Evolução das temperaturas dos ambientes das estufas climatizadas frente a do ambiente da estufa testemunha e do ar exterior para 27 e 28 /08/98

## 5. RECOMENDAÇÕES

Para obter-se um ambiente melhor condicionado do ponto de vista térmico deve-se atacar inicialmente as atitudes conservativas, para depois partir-se para sistemas artificiais. A maior parte das recomendações que seguem são feitas para o inverno, cuidando-se para que essas não interfiram no comportamento da estufa para as condições de verão. Os pontos a serem observados são os seguintes:

### 5.1 Orientação da estufa

No caso de estruturas com largura e comprimento desiguais, deve-se alinhar o eixo maior da estufa com o vento predominante, a fim de reduzir as perdas de calor com o exterior durante o inverno. A orientação solar não é a mais importante, pois a radiação penetra por todas as superfícies transparentes. A mesma recomendação é válida para o verão, onde busca-se melhorar a ventilação do ambiente.

### 5.2 Dimensões e geometria

Para o inverno, a estufa deverá oferecer a menor área de troca possível com o exterior. Deve-se buscar um valor baixo para a relação área de troca / volume da estufa. A altura da estufa aqui passa a ser um ponto discutível, pois recomenda-se a adoção de alturas acima de 3 metros, podendo até chegar a 6 metros, a fim de proporcionar ventilação adequada para os períodos quentes. Esta mesma vantagem pode prejudicar o comportamento no inverno, uma vez que aumenta a área lateral de troca.

Quanto a construção do teto da estufa, dá-se preferência à geometria de arcos, pois esta apresenta maior probabilidade de oferecer uma superfície perpendicular aos raios solares em todas as estações do ano.

### **5.3 Materiais de cobertura**

Deve-se combinar custo do material, manutenção, durabilidade, facilidade de instalação com o comportamento térmico da estufa. Sugere-se também o emprego de camada dupla de plástico para aumentar o isolamento térmico, principalmente da cobertura [Nijkens et al., 1984], onde insufla-se ar com um pequeno ventilador centrífugo. A escolha de plásticos térmicos aliada a resistência da camada de ar forma uma barreira ainda maior a saída do calor. Como efeitos não desejados aparecem a redução da transmissividade à radiação solar, cujo decréscimo deve ser avaliado segundo as necessidades das plantas, e o aumento da temperatura no verão.

Pode-se ainda pensar no fechamento parcial da fachada voltada para o sul, em locais onde o vento predominante vem deste quadrante ou próximo a ele. Esta fachada é responsável por uma área de perda de calor importante, ao mesmo tempo que não recebe radiação solar direta durante o inverno. O fechamento pode ser removido no verão, ou construído numa altura que não venha a prejudicar a ventilação natural do ambiente.

### **5.4 Filmes de proteção**

São usados como recurso para reduzir as fugas de calor noturnas e proporcionar a atenuação da radiação solar. O plástico mais comum é o "sombrite", nome comercial para um tramado fornecido em diversos espaçamentos, disponível com pigmentação preta ou branca. Sua colocação no interior da estufa é prática e barata, e promove a sombra desejada, mas provoca a reirradiação o calor do sol na faixa do infravermelho. Seu emprego no exterior da estufa, mais precisamente sobre o teto, evita que a radiação entre no ambiente da estufa nos períodos de verão ou de forte insolação, ao mesmo tempo que proporciona a redução das perdas noturnas no inverno. Esta instalação é mais cara e deve garantir a possibilidade de recolher ou estender o filme com rapidez, independente da estação ou clima.

### **5.5 Ventilação e resfriamento**

A ventilação natural se consegue pelo efeito dos ventos ou das diferenças de temperatura. O ar quente da estufa pode ser empregado para provocar uma corrente de ventilação, através da correta colocação de aberturas no teto e na base. A abertura de teto mais comum é proporcionada por janelões nas fachadas ou ainda por janelas zenitais, montadas no próprio teto. O abaixamento efetivo da temperatura do ar de uma estufa pode ser alcançado com resfriamento evaporativo, mas as conseqüências do aumento da umidade do ambiente devem ser analisadas para cada tipo de cultura.

### **5.6 Outros processos**

Uma alternativa de calefação é a busca de trocas mais intensas com o solo [Santamouris et al., 1995], com o auxílio de dutos enterrados ou de leitos de pedras.

## **6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS**

O conjunto dos sistemas passivos e ativos instalados ao longo de 2 anos de projeto possibilitou resolver alguns dos problemas identificados, sempre condicionados à restrição de baixos custos de instalação e operação. Os principais avanços observados estão ligados a melhoria das estruturas hoje em voga, que devem ser melhor exploradas nos seus aspectos con-

servativos (melhores plásticos e com camadas duplas, filmes de proteção, melhor vedação, etc.), para daí pensar-se na aplicação de sistemas artificiais. Também nesta área houve uma proposta de adaptação de aquecedores de passagem domésticos, visando reduzir custos de instalação. O porte e a abrangência dos esforços requeridos neste trabalho, envolvendo projeto de sistemas, instalação, monitoração, desenvolvimento de instrumentação e simulação numérica do comportamento térmico destes ambientes deve contar com financiamentos mais seguros, para que esta importante área de seja desenvolvida no Brasil.

Uma grande dificuldade quando se trabalha com seres vivos é conhecer as condições de conforto ideais para o desenvolvimento de uma dada espécie. Estas respostas não são facilmente disponíveis e para o caso particular deste trabalho ainda são incertas.

### ***Agradecimentos***

Este projeto foi financiado pelo SEBRAE, FAPERGS e CNPq, pelas empresas Novus Produtos Eletrônicos, Elipse Informática, Broilo Aquecimento, Plásticos Paraná e Plásticos Terpol, além da contribuição da pesquisadora Dra. Rosana Karam da USP/São Carlos.

### **REFERÊNCIAS**

- Nijkens J., Deltour J., Coutisse S. and Nisen A., 1984, Heat Transfer Through Covering Materials of Greenhouses, *Agriculture and Forest Meteorology*, N<sup>o</sup> 33, pp. 193-214.
- Santamouris M., Balaras C.A., Dascalaki E and Vallindras M., 1994, Passive Solar Agriculture Greenhouses: A Worldwide Classification and Evaluation of Technologies and Systems Used for Heating Purposes, *Solar Energy*, Vol 53, N<sup>o</sup> 5, pp. 411-426.
- Santamouris M., Mihalakakou G., Balaras C.A., Argiriou A., Asimakopoulos D. and Vallindras M., 1995, Use of Buried Pipes for Energy Conservation in Cooling of Agriculture Greenhouses, *Solar Energy*, Vol 55, N<sup>o</sup> 2, pp. 111-124.
- Schneider P.S., Vielmo H.A., 1998, Desenvolvimento de Mecanismos Visando ao Controle Térmico do Ambiente Interno de Estufas para Plasticultura e Avaliação da Produtividade, Relatório SEBRAE-PATME, Porto Alegre.
- Schneider P.S., Vielmo H.A., 1999, Desenvolvimento de Mecanismos Visando o Controle Térmico do Ambiente Interno de Estufas para Plasticultura, Relatório FAPERGS-SEBRAE n<sup>o</sup> 97/0868.0, Porto Alegre.
- Sentelhas, P.C. e Santos A.O., 1995, Cultivo Protegido: Aspectos Microclimáticos, *Rev. Bras. Hort. Orn.*, Vol 1, N<sup>o</sup> 2, pp. 108-115.

### **THERMAL CONTROL OF AGRICULTURAL GREENHOUSES**

***Abstract.*** *This work describes a sequence of research actions concerning the improvement of the thermal conditions of agricultural greenhouses. Some heating systems are described, including passive solar and two other active ones, based on fuel oil and gas, with different distribution circuits. Some conservative solutions are presented, including the selection of covering materials. The experimental assembling is shown, followed by some practical instruction.*

***Key-words:*** *Greenhouses, Room Heating, Thermal Behavior of Buildings*