

AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA DE ESTUFA PLÁSTICA DOTADA COM SISTEMA DE CALEFAÇÃO POR FLUXO DE AR QUENTE¹.

EVALUATED METEOROLOGICAL ELEMENTS IN PLASTIC GREENHOUSE WITH HEATING SYSTEM BY HEAT AIR FLOW.

Sérgio Roberto Martins² e Jesus Fernandez Gonzalez³

RESUMO

Foi avaliada a temperatura interna de estufa plástica tipo túnel alto, dotada de sistema de calefação com geração de ar quente com fonte de energia elétrica. Estimou-se a perda total de energia da estufa, considerando perdas por condução-convecção, renovação de ar, irradiação e pelo solo, assim como a energia necessária para gerar calor no sistema de calefação. Foram monitorados dados de temperatura nos gradientes verticais e horizontais da estufa. O sistema mostrou ser eficiente para salto térmico de 17°C, ou seja, garantiu temperatura de 13°C, no interior da estufa, mesmo em noites com temperatura externa de -4,0°C. Também se analisou o custo do consumo médio diário de energia elétrica para o funcionamento do sistema.

Palavras-chave: estufa, calefação, energia, temperatura, custo.

SUMMARY

The internal temperature of a plastic greenhouse, tunnel type, using a heating system with heat air flow produced by electric energy was evaluated. It was estimated the loss of energy in the greenhouse considering the losses by conduction-convection, air remove, irradiation and by the soil as well as the energy needed to heat production in the heating system. Temperature data was taken in vertical and horizontal gradients in the greenhouse. The system showed good efficiency for thermal gain of 17°C,

¹Parte dos resultados do projeto de pesquisa desenvolvido nas atividades de pós-doutorado realizado na Universidade Politécnica de Madri (CNPq-1993/94).

²Eng.Agr.,Prof. do Depto. de Fitotecnia-FAEM-UFPEL, 96010-900 Pelotas(RS), C.P.354.

³Eng.Agr., Dr., Catedrático e Diretor do Depto. de Prod. Vegetal-ETSIA-Universidade Politécnica de Madri, Espanha.

i.e., it kept the inside temperature under 13°C, even in conditions of external night temperature of -4.0°C. It was also analyzed the cost of electric energy, in daily average consumption basis, to move the system.

Key words: greenhouse, heating system, energy, temperature, cost.

INTRODUÇÃO

A climatização das estufas tem sido utilizada com vários objetivos. Com relação ao incremento de calor, através da calefação, se busca em primeiro lugar, conseguir temperaturas acima das temperaturas mínimas biológicas para as espécies cultivadas. A adição de calor nas estufas impede as inversões térmicas que podem ocorrer nas épocas mais frias do ano, quando a temperatura interna da estufa pode ser inferior a temperatura externa. Outro aspecto importante do aumento da temperatura interna das estufas por adição de calor, é a diminuição da umidade relativa do ar no seu interior, especialmente em regiões cuja umidade relativa é muito elevada. Além dos efeitos fisiológicos negativos nas espécies cultivadas e o favorecimento de doenças e pragas, a elevada umidade relativa do ar pode provocar excesso de condensação na face interna das coberturas plásticas das estufas, diminuindo portanto a incidência da radiação solar no interior das mesmas (FARIAS, 1991).

O balanço de radiação influi diretamente sobre a temperatura interna da estufa, além de outros fatores tais como: tipo de solo, tamanho e volume da estufa (SEEMAN, 1979). De uma maneira geral as temperaturas no interior da estufa são maiores que as externas (em se tratando de dias claros sem nuvens), pois há pouca perda de calor pela redução do movimento de ar dentro da mesma (MONTERO CAMACHO et al, 1985). Entretanto, em noites claras, a ausência de ventos dentro da estufa pode baixar a temperatura do ar a valores inferiores a externa, provocando o que se chama “inversão térmica” (TAKAKURA, 1974).

Para manter uma temperatura adequada no interior da estufa, é fundamental o acúmulo de energia durante o dia e a sua manutenção durante a noite (TANAKA & GENTA, 1983). Entretanto, isto está condicionado não só ao tipo de material plástico empregado e qualidade da construção da estufa, mas principalmente às condições atmosféricas externas, havendo necessidade em muitos casos de utilização de técnicas que incrementem o acúmulo de calor, como por exemplo o uso de calefação. As trocas energéticas entre o interior de uma estufa e o ambiente externo são complexas, uma vez que estão relacionados entre si, e onde intervém todos os tipos de transferência de calor, a saber: a) por radiação térmica: são aquelas radiações provenientes do solo, atmosfera, estrutura, vegetação e cobertura da estufa, emitidas para o ambiente; b) por convecção: com o ambiente exterior, ambiente interior, solo e através dos

pontos de perda nas paredes e estrutura da estufa; c) por condução: no solo interno da estufa e através das paredes (cobertura plástica) da mesma (MATALLANA GONZALES & MONTERO CAMACHO, 1993).

Distintos modelos de estimativa de necessidade de calor em estufa, são apresentados por GARZOLI & BLACKWELL (1981), NIJSKENS et al (1984), SERRANO CERMEÑO (1990), BERNAT JUANOS et al (1990), MATALLANA GONZALES & MONTERO CAMACHO (1993). Estes modelos geralmente são baseados em experiências locais e, portanto, nem sempre reproduzíveis por questões intrínsecas quanto a localização da estufa, tipo, estrutura e material de cobertura empregado, além dos parâmetros físicos e matemáticos considerados. Entretanto partem do pressuposto básico que o calor necessário à estufa, deve compensar as principais perdas de energia da mesma, ou seja, a perda total de energia deve ser entendida como o somatório das demais perdas energéticas: perdas por condução e convecção, por renovação de ar, por irradiação térmica, e perdas através do solo.

Os sistemas de calefação podem ser agrupados em passivos e ativos (TOOVEY, 1981; BERNAT JUANOS et al, 1990; SERRANO CERMEÑO, 1990; MATALLANA GONZALES & MONTERO CAMACHO, 1993). Os passivos são sistemas que sem consumo de combustíveis, ou com pouco uso destes, conseguem incrementar a temperatura no dossel vegetativo ou no solo onde se cultiva no interior da estufa. Para tanto se podem utilizar artifícios tais como: malhas, painéis ou filmes plásticos protetores sobre as plantas no interior da estufa; utilização de plástico duplo na cobertura da estufa; construção de túneis baixos com filme plástico no interior das estufas; uso de “camas” quentes; uso de mulching, cobrindo o solo com areia ou mesmo com filme plástico; produção de vapor d'água; uso de cortinas de fumaça; uso de quebra-ventos.

Os ativos são sistemas que elevam a temperatura do ar ou do solo no interior das estufas, através do incremento de calor por métodos artificiais. Na calefação por fluxo de ar quente, este se aquece por intermédio de radiadores que funcionam com base em fontes de energia consumidoras de combustível (petróleo, gasoil, óleo queimado, produtos vegetais, carvão, gás butano, etc), ou energia elétrica. Em qualquer destes casos, os radiadores que emitem calor devem estar conectados a um sistema que provoque movimentação do ar (convecção forçada), em geral ventiladores, que uma vez acionados, absorvem o ar quente e o redistribuem por todo o interior da estufa.

A viabilidade econômica dos métodos ativos está intimamente relacionada com o rendimento térmico conseguido no interior da estufa, que depende das características construtivas da estufa, condições climáticas locais e necessidades térmicas das espécies cultivadas. Também está associada ao consumo da fonte de energia empregada para acionar o sistema de calefação, além das condições de mercado que assegurem uma relação benefício/custo favorável para o agricultor. Na Europa, de uma maneira geral, o custo da calefação em estufas plásticas destinadas a produção hortícola se situa entre 10 e 30% dos gastos totais de produção, segundo o tipo de espécies cultivadas, sejam olerícolas ou plantas

ornamentais.

O presente estudo tem como objetivo avaliar a temperatura interna de estufa plástica dotada de sistema de calefação com fonte de energia elétrica a partir da estimativa das perdas totais de energia da estufa, da determinação das necessidades de calor (em kcal/h.m²) em função de salto térmico previamente estabelecido e da avaliação da eficiência do sistema de calefação empregado.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido no Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Agronomia da Universidade Politécnica de Madri (Espanha), localizado a uma latitude de 40°26'36"N, longitude de 3°44'18"W e altitude de 589 m.

O clima local é classificado, segundo Papadakis (ELIAS CASTILLO & RUIZ BELTRAN, 1973), como Tipo Climático Mediterrâneo Temperado (TE,Me), com Regime de Umidade Mediterrâneo Seco (Me), e Regime Térmico Temperado Quente (TE1). No mês mais frio (janeiro) a temperatura média das mínimas é de 1,4°C, das máximas de 8,5°C, e das mínimas absoluta de -4,4°C.

A estufa utilizada foi do tipo túnel alto, com uma área de superfície de solo coberta de 8,5 x 13,30 m, com altura máxima superior de 3,10 m, estrutura de ferro galvanizado, filme plástico tipo EVA e com orientação Norte-Sul.

Para a estimativa de perdas totais de calor se utilizou a metodologia proposta por MATAALLANA GONZALES & MONTERO CAMACHO (1993) para as perdas por condução-convecção, BERNAT JUANOS et al (1990) para as perdas de renovação de ar, CHIAPALE et al (1984) para as perdas por irradiação, e MARTINEZ GARCIA (1986) para as perdas através do solo.

O sistema de geração de calor para a calefação foi através de energia elétrica, com automatização para permitir a manutenção de distintos níveis de temperatura. O sistema de calefação foi projetado tendo como fonte central de calor um conjunto de duas resistências elétricas com 10 kw e 12 kw, podendo funcionar isoladamente ou em conjunto. A fonte de calor estava conectada a um ventilador que impulsiona o fluxo de ar a ser distribuído no ambiente interno da estufa através de uma tubulação de filme plástico perfurada em distintos pontos e estendida ao longo do maior comprimento, situado a 2,0 m de altura.

Para avaliar o sistema de calefação foi monitorado a distribuição espacial da temperatura do ar no interior da estufa no sentido vertical e horizontal, através de sensores tipo Pt-100, com registro em Data Logguer LICOR LI-1000, a 0,20 m, 1,20 m, 2,20 m e 3,2 m de altura, em 9 pontos coincidentes com os pontos cardeais. Os valores para cada hora ao longo do dia, foi calculado pela média aritmética dos períodos de leitura dos sensores (10 minutos).

O monitoramento foi realizado durante os meses de março e abril de 1993 e 1994, em dias límpidos, fixando-se previamente o limite mínimo de temperatura (temperatura de referência) para o interior da estufa, em 10 e 12°C, para as resistências elétricas de 12 e 22 kw, respectivamente.

Finalmente se avaliou o custo do sistema pelo número de horas de funcionamento do mesmo nas distintas noites e número de unidade de kw empregado.

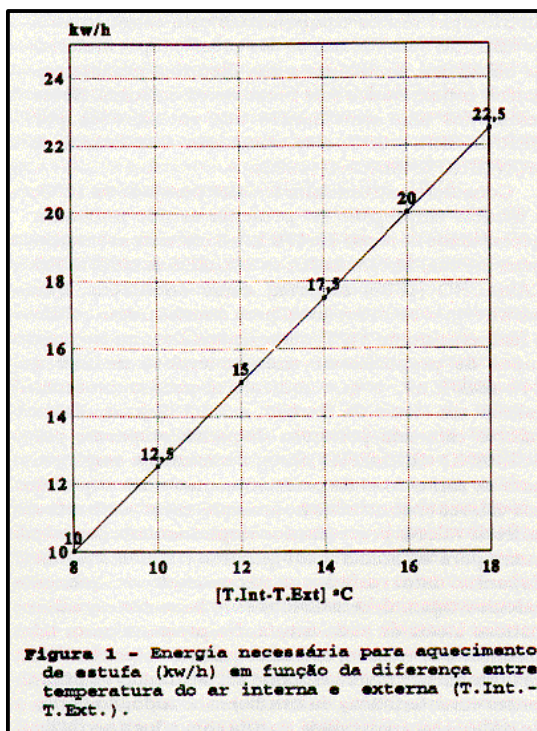
RESULTADOS E DISCUSSÃO

As perdas totais de energia foram de 1081,5 cal.h./m².°C, repartidas da seguinte maneira: 53 % de perdas por condução-convecção (573,39 kcal), 7% por renovação de ar (78,61 kcal), 35% por irradiação térmica (368,03 kcal), e 5% referentes as perdas através do solo (51,5 kcal). A distribuição destes componentes está condicionada as distintas características das estufas (tipo, material de cobertura, ambiente) e aos distintos parâmetros físicos considerados nos respectivos cálculos. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por BERNINGER (1989) e MATAALLANA GONZALES & MONTERO CAMACHO (1993).

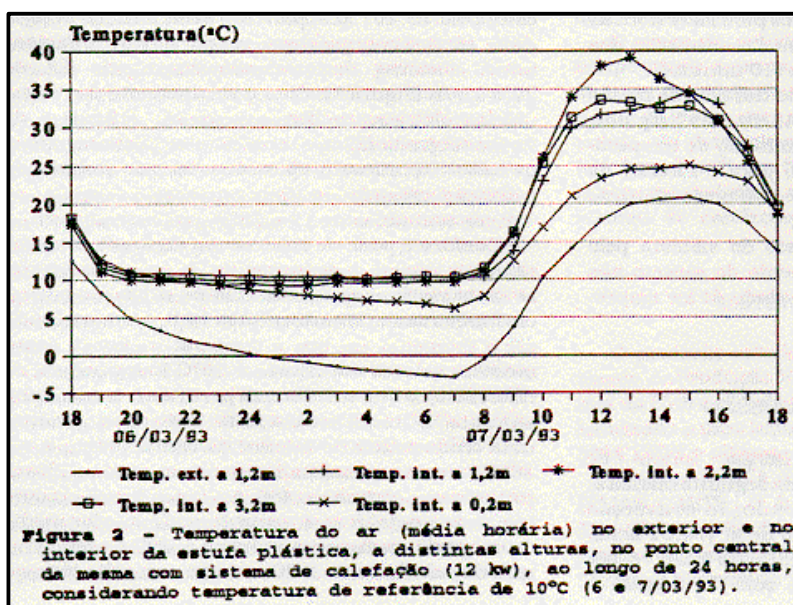
Considerando um salto térmico desejado de 18°C, o modelo empregado no presente estudo indicou a necessidade de repor 19.476 kcal referente as respectivas perdas. MATAALLANA GONZALES & MONTERO CAMACHO (1993) sugerem como orientação, que para a região mediterrânea, para manter numa estufa a temperatura de 15°C, seria necessário um sistema capaz de proporcionar energia térmica de 220 a 240 kcal/h.m², o que equivaleria para o presente estudo um total de 24.871 a 27.132 kcal. Estes valores estariam próximos daqueles propostos por SERRANO CERMEÑO(1990), de maneira empírica, para as zonas frias da península, mas seria superior aos valores encontrados no presente estudo, situados entre os valores preconizados empiricamente por este autor para as zonas semi-quentes e zonas frias da Espanha. Isto reafirma a necessidade de que os cálculos sejam desenvolvidos com base nas características locais de cada estufa. No presente caso, tal similitude de valores, embora com condições climáticas totalmente diversas, pode ser atribuído às excelentes características da estufa em estudo, do ponto de vista de estanqueidade (estufa com pouca perda de calor, principalmente considerando uma das cabeceiras construídas de alvenaria), baixa incidência de ventos (quase sempre inferiores a 1,0 m/s) e bom estado de conservação.

Levando em conta a perda total de energia da estufa em 19,467 kcal para um salto térmico desejado de 18°C, a energia requerida para o funcionamento do sistema de calefação empregado foi de 22,6 kw/h (Figura 1). Com o acionamento das resistências elétricas de forma separada (12 kw) e de forma conjunta (22 kw), observou-se posteriormente os saltos térmicos proporcionados pelo sistema de calefação utilizado, os quais estiveram próximos aos valores estimados de 12 e 18°C, respectivamente.

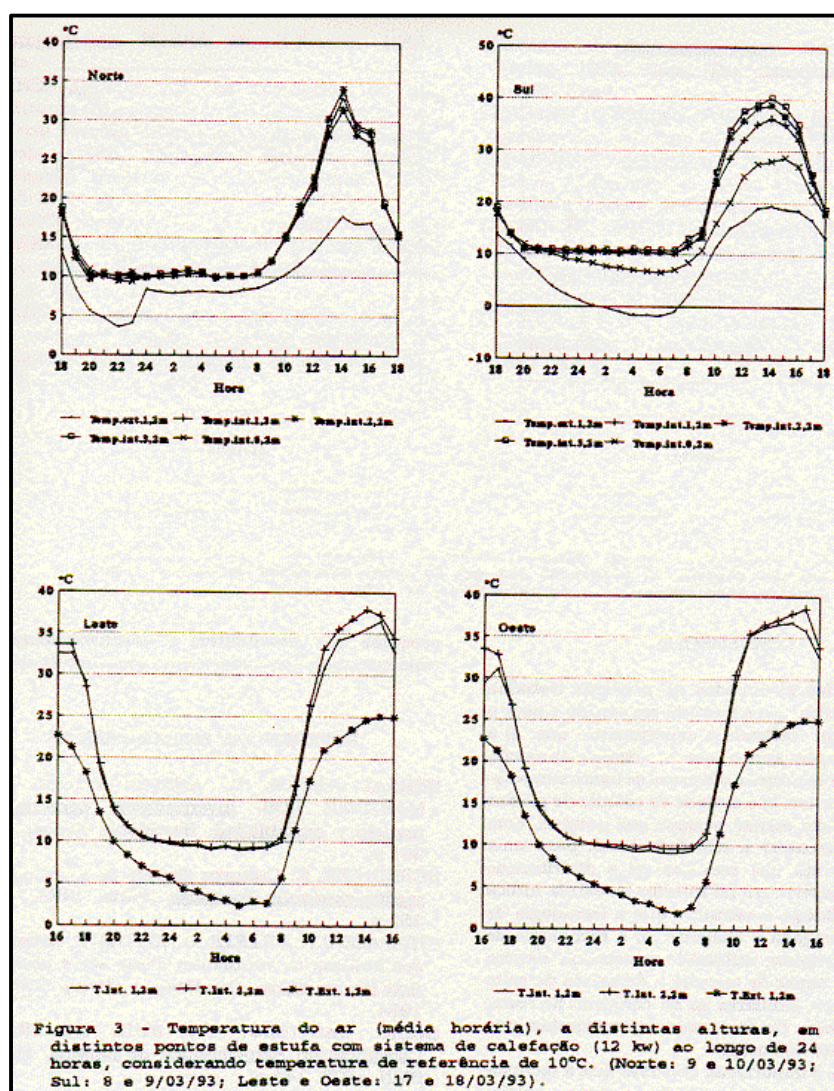
Conforme pode-se observar na Figura 2, considerando os valores de temperatura do centro da estufa, se pode verificar que o sistema de calefação entrou em funcionamento em torno das 19 h, permanecendo até o momento em que a temperatura subiu novamente a valores superiores a 10°C



(temperatura de referência), o que aconteceu a partir da 8 h da manhã seguinte. Durante toda a noite o sistema garantiu uma temperatura no interior da estufa próxima aos 10°C , mesmo quando a temperatura externa alcançou valores próximos a -4°C. A referida figura permite também constatar que, considerando o valor médio de temperatura noturna próximo a -2°C e a temperatura de referência de 10°C, ou seja, um salto térmico desejado de 12°C, o modelo de cálculo de perdas de calor proposto no presente trabalho foi adequado, uma vez que o sistema de calefação planejado mediante estes cálculos foi capaz de repor esta energia dissipada.

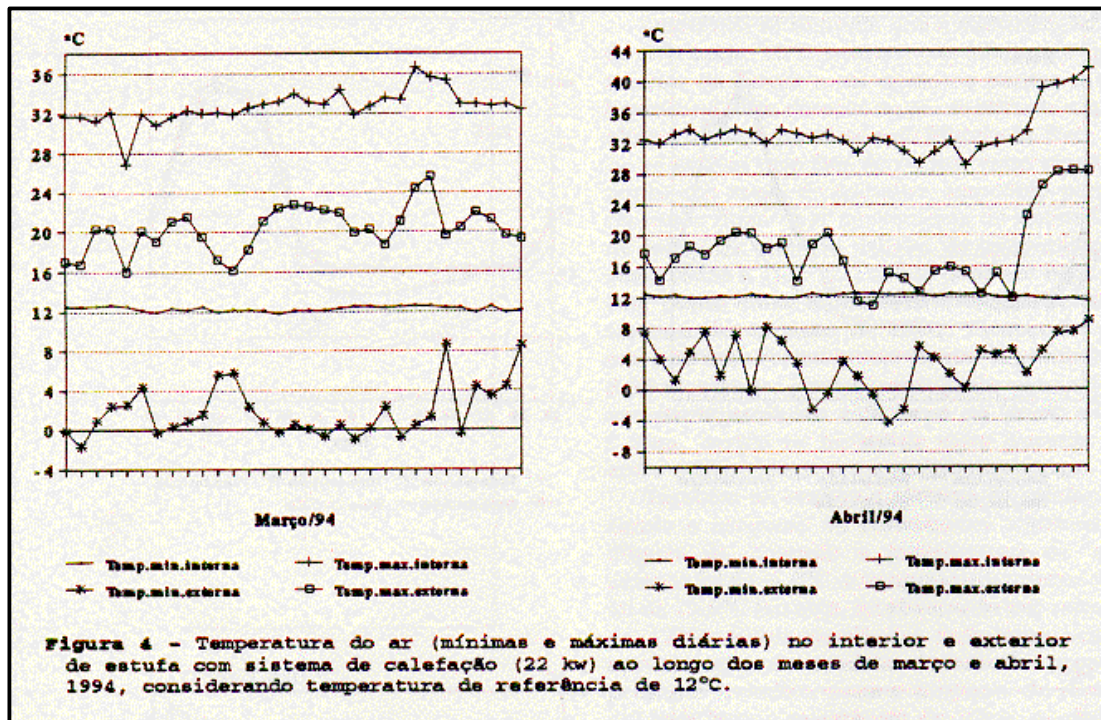


Observou-se também que a manutenção do valor de referência, 10°C, ocorreu nas diferentes alturas no interior da estufa e em distintos pontos no sentido horizontal, com exceção do ponto situado a 0,20 m de altura, ou seja, junto ao solo (Figura 3). Este fenômeno se explica pelo fato do sensor estar situado neste ponto sob mesa de trabalho, impedido portanto de receber o fluxo de ar proveniente do sistema gerador de calor. Os maiores valores de temperatura foram observados a 1,20 m. Tal fato pode ser explicado por este ponto estar situado imediatamente abaixo do sistema de emissão de calor, recebendo portanto calor de uma forma quase direta. O ponto situado a 3,20 m, ou seja, praticamente junto ao teto da estufa, apresentou valores inferiores ao ponto situado a 2,20m, devido as trocas de calor durante a noite, entre o filme plástico e o ambiente externo.



Também se avaliou o sistema de calefação, utilizando o conjunto de resistências elétricas (22 kw) (Figura 4). Quando a temperatura do ambiente externo foi de -4,0°C, a temperatura interna na estufa foi de 13,0°C (ou seja, foi observado um salto térmico de 17°C). Estes resultados indicaram uma maior aproximação do modelo de cálculo proposto no presente trabalho, para o conjunto de resistências

(22 kw). Para a resistência de 12kw, os dados pontuais indicam que o modelo poderia estar sobredimensionando a necessidade de energia para aquecer o ambiente interno da estufa. Entretanto quando se avaliou os dados médios de noites mais frias (temperaturas inferiores a 0°C), o salto térmico médio foi próximo de 12°C, ou seja, bastante similar aos valores estimados pelo modelo.



Quanto ao custo do sistema de calefação empregado, o uso da resistência elétrica de 12 kw, ou do conjunto de resistências (22 kw), não implicou em grande diferença no calor interno da estufa. Usando 12 kw, com temperatura externa de -4,9°C, se conseguiu uma temperatura interna de 10,1°C. Quando se empregou 22 kw, para praticamente a mesma temperatura externa (-5,2°C), a temperatura interna foi de 13,4°C, ou seja, quase se duplicou a energia requerida, para um acréscimo de somente 3°C no interior da estufa.

Extrapolando estes dados para os meses de inverno, com um ciclo de cultivo de 90 dias, e necessitando manter uma temperatura interna da estufa em 10°C, pode-se prever o funcionamento do sistema de forma diária, em função das baixas temperaturas noturnas neste período. Desta maneira, considerando um número médio de 3,6 h de funcionamento do sistema de calefação de 12 kw, a média de consumo diário de energia seria de 43,2 kw; em 90 dias (meses de inverno) o consumo total de energia seria de 3.888 kw, com um custo total de 46.656 pesetas, ou 358 dólares. Deve-se considerar ainda o custo inicial de instalação do sistema de calefação, estimado em 200.000 pesetas (1.538 dólares), para uma estufa com as características da utilizada no presente estudo.

CONCLUSÕES

Os resultados alcançados no presente trabalho permitem concluir, para a estufa em estudo e para o local em que foi realizado o experimento, que: a) a estufa não é capaz, sem o uso de sistema de calefação, de superar condições adversas de baixa temperatura no seu interior; b) o método de cálculo de perdas de calor necessita contar, sempre que possível, com dados que expressem a realidade local, para uma estimativa correta das mesmas; c) a distribuição espacial de temperatura no interior da estufa indica pouca variabilidade mostrando que a tecnologia de calefação empregada é eficiente; d) a tecnologia de calefação empregada, utilizando resistência elétrica de 12 kw/h, é capaz de atender a demanda de salto térmico bastante similares ao do conjunto de resistências elétricas (22 kw) com aproximadamente metade do gasto de energia.

Finalmente é importante observar que a tecnologia estudada no presente trabalho, quanto a calefação, poderia ser possível de ser utilizada no Brasil, onde as temperaturas mínimas noturnas são superiores as de Madri; este fato permite pensar em resistências elétricas de menor potência e portanto com menor custo de instalação e consumo. Entretanto, em qualquer caso, necessitaria ser adaptada a nossa difícil realidade agrícola, cujas limitações de mercado reforçam a necessidade de considerar com extremo cuidado a relação benefício/custo, e dependeria da disponibilidade de energia elétrica no meio rural. Mesmo assim, seria interessante abrir linhas de pesquisa que possibilitem o desenvolvimento de resistências elétricas com menor consumo de energia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNAT JUANOS, C., ANDRES VITORIA, J.J., MARTINEZ ROS, Invernaderos: construcción, manejo y rentabilidad. Barcelona: Aedos, 1990. 201 p.
- BERNINGER, E. Cultures florales de serre en zone mediterraneenne française. Paris: INRA, 1989, 252 p.
- CHIAPALE, J.P., VILLÈLE, O., KITTAS, C. Estimation des besoins de ventilation d'une serre plastique. Acta Horticulturae, Den Haag, v. 154, p. 257-266, 1984.
- ELIAS CASTILLO, F., RUIZ BELTRAN, L. Classificación Agroclimática de España. Madrid: SMN, 1973. 145 p.
- FARIAS, J.R. Respostas do feijão-vagem a disponibilidade hídrica associada a alterações micrometeorológicas em estufa plástica. Porto Alegre, 1991. 177 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Agronomia/UFRGS, 1991.

- GARZOLI, K.V., BLACKWELL, J. An analysis of the nocturnal heat loss from a single skin plastic greenhouse. *J. Agric. Eng. Res.*, Silsoe, v. 26., p. 203-214, 1981.
- MATALLANA GONZALES,A., MONTERO CAMACHO,J.I. **Invernaderos** **Diseño, construcción y ambientación**. Madrid: Mundi-Prensa, 1993, 159 p.
- MARTINEZ GARCIA, P.F. La regulación de las condiciones del ambiente en los cultivos protegidos. In: Feria Técnica Internacional de la Maquinaria Agrícola, 1986, Zaragoza. España. **Anales**, Asociación Nacional de Ing.Agrónomos, 1986 p. 135-147.
- MONTERO CAMACHO, J.I., CASTILLA, N. GUTIERREZ, E., BRETONES, F. Climate under plastic in the Almeria. **Acta Horticulturae**, Den Haag, v. 170, p. 227-234, 1985.
- NIJSKENS, J., DELTOUR, J., COUTISEE, J. et al. Heat transfer through covering materials of greenhouses. **Agric.For.Meteorol.**, Amsterdam, v. 33, n. 2/3, p. 193-214, 1984.
- SEEMAN, J. **Agrometeorology**. Berlin: Springer Verlag, 1979. Cap.: The Greenhouse Climate, p. 165-178.
- SERRANO CERMEÑO,Z. **Técnicas de Invernadero**. Sevilla: Zoilo Serrano Cermeño, 1990. 644 p.
- TAKAKURA,T. **Agricultural Meteorology of Japan**. Tokyo: University of Tokio Press, 1974. Cap.: Artificial climate. p. 126-153.
- TANAKA, M., GENTA, H. **Distribución y conservación de la temperatura en invernadero**. Salto: Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger, Estación Experimental de Citricultura, 1983. 13 p.
- TOOVEY, F.W. **Invernaderos Comerciales: Construcción y calefacción**. Zaragoza: Acribia, 1981. 208 p.