

AVALIAÇÃO DO RESFRIAMENTO EM ESTUFA PLÁSTICA MEDIANTE SISTEMA DE VENTILAÇÃO E NEBULIZAÇÃO¹

EVALUATION OF COOLING BY VENTILATION AND SYSTEMS IN PLASTIC GREENHOUSE

Sérgio Roberto Martins² e Jesus Fernandez Gonzalez³

RESUMO

Avaliou-se a capacidade de resfriamento de estufa plástica tipo túnel alto, através de sistema de ventilação mecânica e sistema de umidecimento por nebulização. Foi determinado o número máximo de renovações de ar, segundo a capacidade dos ventiladores e o volume da estufa. De acordo com a radiação solar global e distintos saltos térmicos se estimou o limite de resfriamento em função da temperatura exterior. Como técnica complementar se utilizou o sistema de nebulização com dois conjuntos de aspersores: vazão de 7 e 14 l/hora, com 4,0 atm de pressão. Ambos sistemas de resfriamento não foram capazes de manter a temperatura do ar interno da estufa inferior a 30°C.

Palavras-chave: estufa plástica, ventilação, nebulização, resfriamento, umidecimento, temperatura do ar, radiação solar.

SUMMARY

The cooling capacity of mechanical ventilation system and moistening by misting was evaluated in a plastic greenhouse. The maximum number of air renovations was established according the fan capacity and the greenhouse volume. The limit of cooling in relation to the outside temperature, was estimated according the global solar radiation and the distinguished thermic increasing. As supplementary thecnic, the misting system with two nozzles sets was used (flow rate of 7 and 14 l/h and pressure of 4 atm). Both

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

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

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

cooling systems were not able for maintaining the greenhouse inside temperature lower than 30°C.

Key words: plastic greenhouse, ventilation, misting, cooling, moistening, temperature, solar radiation.

INTRODUÇÃO

A ventilação da estufa é fundamental por três razões básicas: assegura uma taxa mínima de CO₂ para a vegetação, evita o excesso de umidade bem como o calor excessivo durante o dia. Obviamente, a maneira mais econômica de reduzir as altas temperaturas no interior das estufas é através da ventilação natural; para tal pode-se empregar dispositivos estáticos de abertura das paredes ou laterais das mesmas por meio de comandos manuais ou mecânicos. Entretanto estes dispositivos nem sempre asseguram a renovação de ar necessária. Neste caso recomenda-se o uso de ventilação através de extratores de ar (BERNINGER,1989).

A capacidade de ventilação da estufa pode ser avaliada através do número de renovações do ar por hora, ou seja, o volume de ar que é renovado por unidade de tempo. Neste sentido é importante a quantificação deste parâmetro. A bibliografia a respeito do assunto, indica que esta tentativa é difícil e complexa (MONTERO CAMACHO et al, 1992; MATAALLANA GONZALES & MARFA PAGES, 1980), ficando evidente a necessidade de contar sempre com informações locais, de maneira individual para cada estufa estudada.

Geralmente os modelos empregados para esta avaliação relacionam o número de renovações horárias do ar das estufas, com a radiação solar exterior e o salto térmico desejado (IWAKIRI & UCHIJIMA, 1971; CHIAPALLE et al, 1984; KITTAS, 1986 e 1993). Esta metodologia pressupõe que existe uma relação inversa entre a taxa de ventilação e o salto térmico da estufa com respeito ao ambiente exterior. Entretanto esta relação não é sempre linear, pois em momentos de muito calor a ventilação, a partir de certos valores de temperatura, não é suficiente para diminuir a temperatura interna da estufa.

Além da ventilação, outros sistemas são utilizados como forma complementar para reduzir a temperatura no interior da estufa, tais como sombreamento, irrigação e umidecimento.

O sombreamento reduz a luminosidade interior da estufa de forma a atenuar as altas temperaturas. Esta técnica apresenta o problema da diminuição da radiação solar em detrimento da fotossíntese, bem como pode incrementar a radiação na faixa do infravermelho que chegaria em excesso até as plantas. Alguns tipos de malhas de sombreamento podem reduzir a taxa de renovação de ar da estufa, diminuindo desta forma o efeito de descenso da temperatura interna (MATAALLANA GONZALES & MONTERO CAMACHO, 1993).

Quanto aos sistemas de irrigação, estes mesmos autores destacam que não atuam diretamente

sobre o ar interno da estufa, e sim sobre sua cobertura plástica, que é molhada de forma contínua com uma fina película de água, obtendo desta maneira um certo resfriamento; citam como exemplo o uso desta técnica na Itália, onde se conseguiu diminuição de até 5°C em comparação com estufas sem uso de irrigação; advertem que a água utilizada deve ser de boa qualidade para impedir a formação de depósitos de sais ou algas na cobertura plástica, assim como destacam a necessidade da estanqueidade da estufa para que a água não caia sobre as plantas cultivadas no seu interior.

Com relação aos sistemas de umedecimento, os mesmos estão baseados no consumo de energia que se dá na passagem do estado líquido da água ao estado de vapor, provocando desta maneira a diminuição da temperatura do ar interno da estufa. É um processo adiabático. A entalpia permanece constante. O processo de saturação ocorre de forma que a energia da mescla ar/vapor d'água não sofre variação; há uma troca do calor sensível (diminuição da temperatura), pelo calor latente (aumento do conteúdo de vapor na mescla de ar úmido).

Exemplo destes últimos é o sistema tipo “fog system” (nebulização), que distribui no ar interno da estufa, uma grande quantidade de partículas de água líquida de tamanho próximo a 10 μm , em forma de neblina. Estas, devido a pequena velocidade de caída, permanecem suspensa no ar ambiente o tempo suficiente para evaporar antes que cheguem a molhar as plantas situadas no interior da estufa. O sistema de nebulização apresenta a vantagem de proporcionar uniformidade de distribuição em toda a estufa, podendo dispensar o uso de ventilação forçada; proporciona alta eficácia de resfriamento e pode ser adaptado a estufas de estruturas mais simples. Como desvantagem, pode ser limitado pelo custo, e necessita de água de boa qualidade e sistema de aspersão que garanta tamanho adequado de gota.

A eficiência do processo de resfriamento depende das condições de radiação solar, temperatura externa, umidade relativa do ar interna e ventilação da estufa. Obviamente a temperatura interna da estufa dependerá, além destes fatores, das características intrínsecas da mesma: estanqueidade e qualidade do filme plástico.

ANTON VALLEJO et al(1982), observaram diferenças importantes com relação a estes diferentes fatores. Em zonas de clima úmido, utilizando sistema de ventilação com capacidade de 40 renovações de ar por hora, para uma radiação de 800 kw/m^2 , obtiveram uma diferença de temperatura interna da estufa com relação ao exterior de aproximadamente 4°C, sem uso de umedecimento. Quando este foi utilizado, a temperatura interna foi igual a externa. Neste caso, a redução de temperatura foi alcançada combinando a nebulização com o sistema de ventilação, utilizando bicos de aspersão com vazão de 4,5 a 6,5 /hora de água evaporada, com distribuição de um bico por 10 m^2 ; outros trabalhos recomendam vazão de 2 l/hora, com uma densidade de 1 bico/9 m^2 (MONTERO CAMACHO et al, 1992).

Em clima seco com uso de umedecimento a temperatura interna da estufa foi reduzida em até 10°C com relação a temperatura externa (GIACOMELLI et al, 1985).

As tecnologias de resfriamento de estufa assumem importância significativa especialmente nos períodos de início de outono e de primavera, quando se apresenta uma situação crítica de momentos de excesso de calor durante o dia, a exemplo de regiões mediterrâneas, cujas temperaturas máximas podem superar aos 40°C nas horas centrais do dia. Nestas regiões, para estes períodos, as temperaturas noturnas são ainda bastante baixas. Assim, tais características provocam uma situação bastante peculiar, pois exige que a estufa se conserve fechada durante o dia para armazenar calor capaz de superar os momentos de frio intenso durante a noite e, ao mesmo tempo, requer sistemas de resfriamento para o excesso deste calor diurno.

Considerando estas questões o presente trabalho teve como objetivo: a) avaliar a capacidade de resfriamento da estufa, através da análise de sua capacidade de ventilação, em função do número de renovações de ar da mesma, de acordo com distintos saltos térmicos e de distintas situações de incidência de radiação solar; b) avaliar a eficiência de tecnologia de resfriamento da estufa mediante o emprego de sistema de umedecimento por nebulização, como forma complementar ao sistema de ventilação existente, de maneira a diminuir as altas temperaturas da estufa a limites que não comprometam o crescimento e o desenvolvimento das espécies cultivadas no seu interior.

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 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 8,5°C, das mínimas absoluta de -4,4°C. No mês mais quente (julho), a temperatura média das mínimas é de 17,5°C, das máximas 30,9°C, das máximas absolutas de 36,0°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 apoio com arcos de ferro galvanizado, filme plástico tipo EVA e localizada com orientação norte-sul.

O sistema de ventilação empregado foi “extrator de ar”, que tem entre seus objetivos diminuir umidade relativa do ar e amenizar os altos valores de temperatura interna; estes últimos são observados nas horas centrais do dia, mesmo fora da estação de verão.

A movimentação de ar no interior da estufa é realizada pelo fluxo de ar que penetra através de duas

pequenas janelas com persianas de movimento sensível, situada na cabeceira norte da estufa, e que sai via dois ventiladores situados na cabeceira sul.

A estufa contou com sistema de acionamento automático de calefação/ventilação/nebulização, a partir de valores mínimos e máximos de temperatura e umidade relativa do ar, previamente estabelecidos. Este sistema foi conectado a sensores de temperatura tipo Pt-100 ligados a central de computação para registro com intervalo de tempo de 10 minutos.

A relação entre radiação solar global exterior e a temperatura interna e externa da estufa, foi estabelecida empiricamente, mediante o registro de tempo de funcionamento do sistema de ventilação e as respectivas diferenças de temperatura (interna e externa), segundo metodologia proposta por CHIAPALE et al (1984), através da seguinte expressão:

$$NR = K (rS/\Delta t)$$

onde NR a é taxa de ventilação (número de vezes em que o volume de ar da estufa é renovado); Rs a radiação solar global exterior; e ΔT a diferença entre temperatura interna e externa.

A capacidade limite de renovação do sistema de ventilação empregado (CNR máxima), foi determinada considerando as características mecânicas dos ventiladores e o volume de ar da estufa, através da seguinte expressão:

$$CNR = CV / V$$

onde CNR é a taxa de renovação máxima por hora (limite do sistema de ventilação); CV a capacidade do sistema; e V é o volume da estufa.

O sistema de nebulização utilizado no presente trabalho, constou de duas linhas paralelas de irrigação (tubos de PVC), situadas ao longo do sentido de maior comprimento da estufa, colocadas a 2,0 m de altura. Ao longo das tubulações de condução de água, foram distribuídas os bicos de aspersão distanciadas a 2 m entre si.

A eficiência do sistema foi avaliada com dois conjuntos de 6 bicos de aspersão, utilizando pressão de 4 atm e vazão de 7 e 14 l/hora.

Os estudos de ventilação foram realizados durante os meses de março a maio de 1993 e 1994. Os estudos de resfriamento foram realizados durante a primeira quinzena de junho de 1994, quando as temperaturas exteriores já são bastante altas (temperaturas máximas diárias de até 34°C); neste caso se utilizou proteção com tela plástica de cor preta e mesmo assim a temperatura interna da estufa apresentou valores ligeiramente superiores a externa (1 a 2°C).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a capacidade de ventilação do sistema (10.400 m³/h) e o volume da estufa

(261,05 m³) estimou-se que o limite de renovação de ar da mesma foi de 39,68 (taxa de renovação horária de ar). Estes resultados estão de acordo com outros autores, entre os quais destacamos BERNINGER(1989) e KITTAS(1986) que indicam para regiões mediterrâneas a eficiência de mecanismos de ventilação, baseada em número de renovação de ar entre 30 e 60, de acordo com a dimensão da estufa, valores de radiação solar e salto térmico desejado.

Levando em conta esta capacidade limite de renovação de ar do sistema de ventilação empregado, a partir da expressão que correlaciona NR com $R_s/\Delta T$, foi estabelecida a correlação entre a capacidade de renovação de ar da estufa e a relação entre a radiação solar global e a diferença de temperatura interna e externa. Esta foi bastante elevada ($r=0,92$) e a equação de regressão foi a seguinte: $NR = -56,8 + 1,8R_s/\Delta T$.

A partir desta equação estimou-se empiricamente para as distintas faixas de radiação solar, os valores de ΔT . Conforme observa-se na Figura 1, para a manutenção da temperatura interna da estufa em 30°C, dependendo da radiação solar incidente, o limite de temperatura máxima externa seria de 22,5°C. O coeficiente desta expressão ($k=0,74$), resultado da relação $R_{Nmax}=kR_s/\Delta T$, foi igualmente superior ao determinado empiricamente por CHIAPALE et al (1984), ($k=0,65$). Acima deste limite de temperatura o sistema de ventilação deixaria de ser eficiente, necessitando-se mecanismos adicionais de rebaixamento de temperatura interna da estufa, a exemplo do resfriamento pôr nebulização.

Usando esta relação, a Figura 2 mostra que, considerando o limite de temperatura externa de 24°C e radiação solar global entre 500 e 800 W/m², os saltos térmicos estimados para a primavera de 1994 foram bastante próximos aos observados na primavera de 1993.

A Figura 3 evidencia que, para dias típicos com bastante incidência de radiação solar, para poder manter temperatura de 30°C no interior da estufa, o sistema de ventilação utilizado foi ineficiente. Temperaturas externas de 22°C foram suficientes para provocar temperatura de 32°C; valores de temperatura externa de 25°C provocaram temperatura interna de 40 a 43°C. Tal situação se agravou no final da primavera e início do outono, quando a temperatura externa nas horas centrais do dia, alcançou valores entre 27,5°C e 31,5°C em abril e maio, e entre 34,0°C e 25,4°C em setembro e outubro, respectivamente.

Conforme se observa na Figura 4, utilizando o sistema de nebulização com bicos aspersores de 7 l/h, nas horas de maior radiação do dia os valores de temperatura no interior da estufa foram ligeiramente superiores ao ambiente externo. Isto mostrou a pouca eficiência do sistema, pois obviamente não teria sentido sua aplicação, para conseguir limites de temperatura que poderiam ser alcançados deixando simplesmente a estufa com laterais abertas.

Neste sentido, avaliou-se o sistema utilizando bicos aspersores com maior vazão (14 l/h). Os resultados desta nova avaliação podem ser observados também na Figura 4. As temperaturas no interior da estufa, nas horas mais quentes do dia foram, neste caso, igualmente superiores as temperaturas externas,

embora com menor diferença. Observa-se também que a umidade relativa interna foi aumentando em relação ao tempo de funcionamento do sistema de nebulização. Entretanto, da mesma forma que no caso anterior, o sistema também não foi eficiente para diminuir a temperatura interna da estufa.

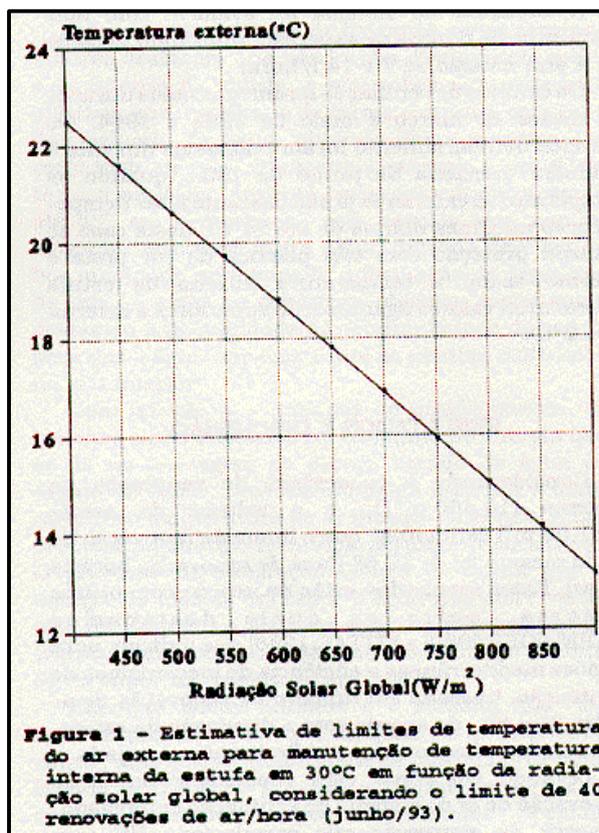
É importante destacar que os bicos aspersores empregados correspondem, segundo o fabricante (Regaber), a um sistema denominado “Fogger”, cujo objetivo é incrementar a umidade relativa em recintos fechados; para o caso de climatização ambiental recomenda-se o uso de bicos aspersores de 7 l/h, em tempos de curta duração (3 segundos), com separação entre “foggers” de 1 m. Entretanto o fabricante não dispõe de informações sobre a densidade de “foggers” por área de estufa, ou qual a separação entre linhas mais indicada.

Neste sentido, considerou-se as questões relativas ao balanço de energia no interior da estufa em função da temperatura. Estimou-se o aporte energético na estufa como conseqüência do incremento de calor na estufa (ΔT), bem como a quantidade de vapor de água necessária para absorver este calor, a partir da seguinte expressão:

$$Q_i = \Delta t \cdot r \cdot C_p \cdot V$$

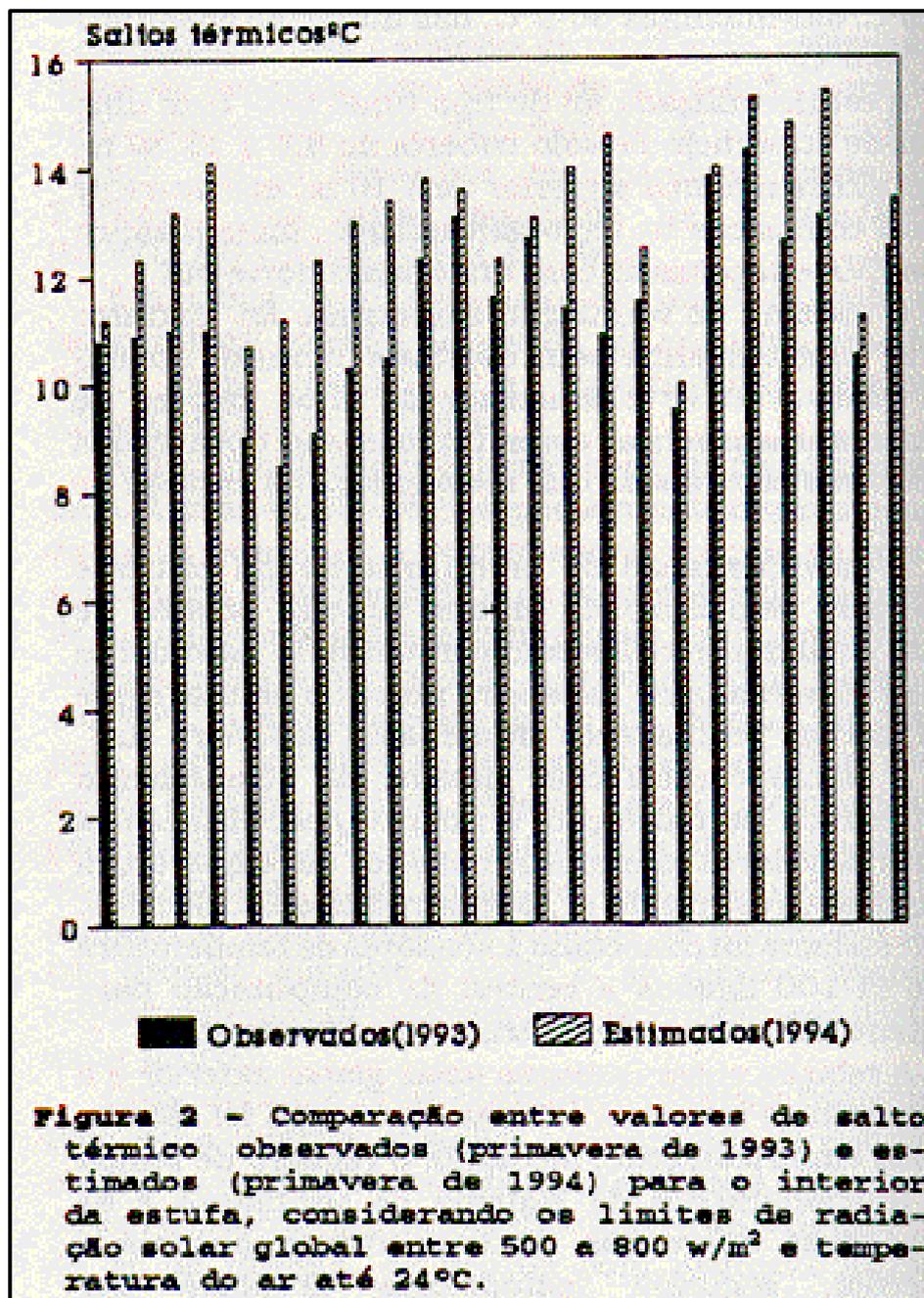
onde Q_i é a energia no interior da estufa; ΔT o aumento de calor no interior da estufa; r a densidade do ar (entre 1,135 e 1,078, para temperatura entre 15 e 30°C); C_p o calor específico do ar (0,237 kcal); e V o volume da estufa.

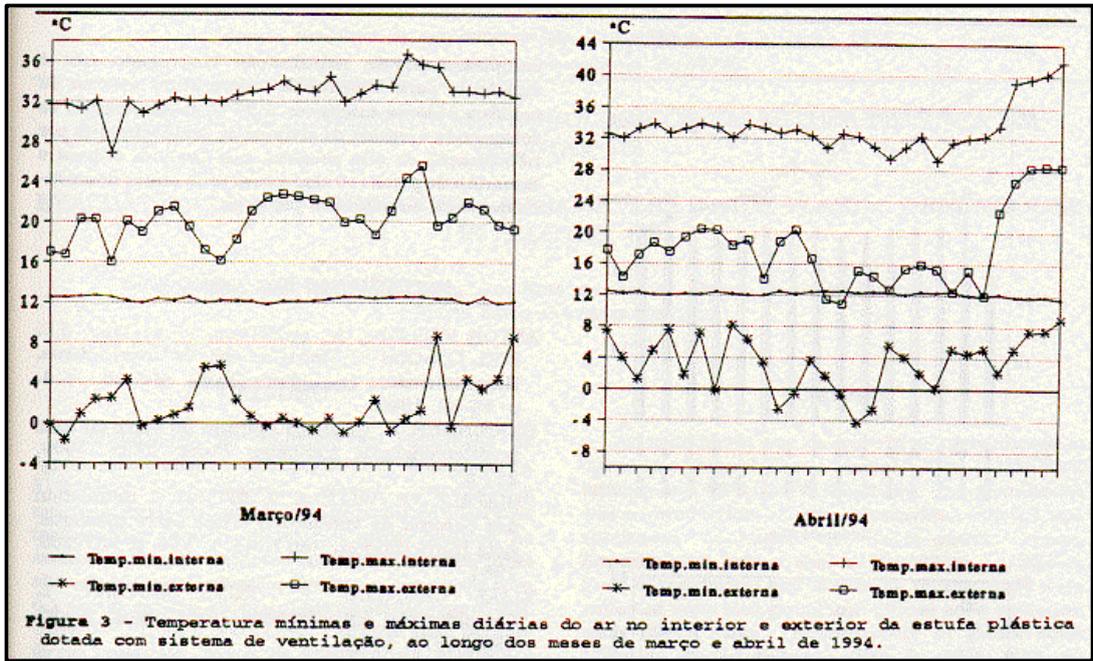
Durante vários dias foi monitorado o incremento de temperatura no interior da estufa, em intervalos de 10 minutos e entre os limites de 15 a 30°C. Observou-se que nestes limites, o acréscimo de temperatura foi aproximadamente de 2,5°C e de maneira constante, ocorrendo entre 8 e 9 horas da manhã.



A partir deste momento a temperatura aumentou, geralmente, para 35°C.

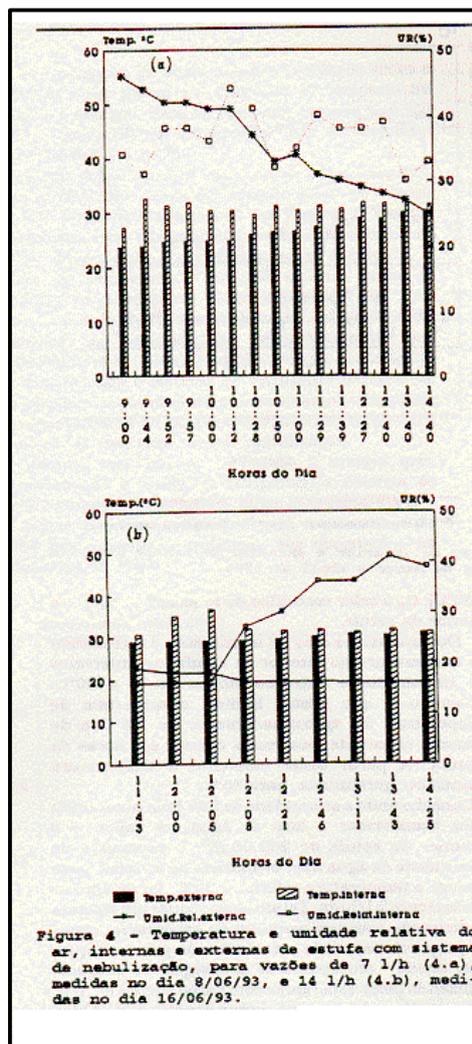
Considerando a quantidade de 540 kcal consumida para transformar 1 litro de água em vapor, e o volume da estufa de 262,05 m³, a estimativa da quantidade de água a ser evaporada no sistema, para manter a temperatura inferior a 30°C, foi de aproximadamente 2 l/hora. Tal situação requer um sistema de irrigação com um conjunto de aspersores, capaz de proporcionar vazão e tamanho de gotas adequadas. Assim, recomenda-se prosseguir os estudos, utilizando bicos aspersores com vazão entre 4 e 7 l/h, submetidas a alta pressão, numa densidade de 1 bico aspersor/10m², para poder alcançar tamanho de gotas que possam proporcionar a eficiência desejada de diminuição da temperatura interna da estufa.





CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados alcançados no presente trabalho para a estufa em estudo e para o local em que foi realizado o experimento, permitem concluir que: a) o sistema de ventilação empregado não é capaz de diminuir a temperatura no interior da estufa a valores inferiores a 30°C, necessitando, portanto, a implantação de um sistema adicional de resfriamento no seu interior, para superar os momentos de alta temperatura de primavera e outono; b) o sistema complementar de nebulização empregado não é suficiente para diminuir a temperatura interna da estufa a valores inferiores a 30°C; neste sentido se recomenda o estudo de sistema de umedecimento por nebulização de alta pressão, que permita reduzir o tamanho de gotas (10 *mm*) e com uma maior densidade de bicos de aspersão por área.



- ANTON VALLEJO, A., MONTERO CAMACHO, J.I., BIEL LOSCOS, C. Refrigeración de invernaderos, Humidificación. **Hortofruticultura**, Madrid, v. 4, p. 59-62, 1992.
- 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. **Clasificación Agroclimática de España**. Madrid: SMN, 1973. 145 p.
- GIACOMELLI, G.A., GINIGER, M.S., KRASS, A.E., et al. Improved methods of greenhouse evaporative cooling. **Acta Horticulturae**, Den Haag, v. 174, p. 49-53, 1985.
- IWAKIRI, S., UCHIJIMA, Z. Temperature regime and heat transfer in a glasshouse at the daytime. **J. Agr. Meteorology. Jap.**, Tóquio, v. 26, p. 197-207, 1971.
- KITTAS, C. Estimation des besoins d'aération des serres en Grèce. **Agronomie**, Paris, v. 6, n. 7, p. 629-632, 1986.
- KITTAS, C. Modifications du comportement thermique et mécanique d'une serre induites par un brise-vent situé en amont. **Agronomie**, Paris, v. 13, p. 105-108, 1993.
- MATALLANA GONZALES, A., MONTERO CAMACHO, J.I. **Invernaderos: Diseño, construcción y ambientación**. Madrid: Mundi-Prensa, 1993, 159 p.
- MATALLANA GONZALES, A., MARFA PAGES, J.O. **Los Invernaderos y la crisis energética**. Madrid: INIA.M.A., 1980, 132 p.
- MONTERO CAMACHO, J.I., ANTÓN VALLEJO, A., BIEL LOSCOS, C. Refrigeración de Invernaderos, Ventilación natural. **Hortofruticultura**, Madrid, v. 6, p. 69-71, 1992.