

Utilização de sistemas de aquecimento por ar e por água quente em estufas localizadas em zonas mediterrânicas

Utilisation of air and pipe heating systems in Mediterranean greenhouses

J. Afonso¹, F. Baptista¹, V. Fitas da Cruz¹ & J.L. Garcia²

RESUMO

Um dos principais objectivos da produção em estufa é a obtenção de plantas, em quantidade e qualidade, que de outro modo não seria possível devido às condições adversas do meio exterior. No entanto, de modo a obter no interior da estufa as condições de temperatura e humidade adequadas é normalmente necessário recorrer a técnicas de condicionamento ambiental, como sejam, a ventilação e o aquecimento.

Neste trabalho pretendeu-se estudar a influência de diferentes sistemas de aquecimento, por ar quente e por água quente, nas condições de ambiência no interior de uma estufa localizada numa zona Mediterrânica continental. Além disso, pretendeu-se também comparar o efeito destes sistemas de aquecimento na ocorrência de condensação. Este é um aspecto de grande importância já que a condensação pode ser um factor favorável à proliferação de determinadas doenças criptogâmicas, responsáveis por avultadas perdas de produção.

O trabalho experimental foi realizado numa estufa localizada em Madrid na

Escola Técnica Superior de Engenheiros Agrónomos. A estufa era multiténel tendo o tecto a forma elipsoidal. A área da estufa era 132 m² e o material de cobertura metacrilato com 3 mm de espessura. O sistema de ventilação consistia em aberturas contínuas laterais e zenitais. Esta estufa estava equipada com dois sistemas de aquecimento, termoventiladores (ar quente) e solo radiante (água quente). Foram recolhidos dados relativos à temperatura e humidade relativa do ar no interior e no exterior, bem como da ocorrência de condensação na parte interna da cobertura da estufa. Todos os dados foram registados com intervalos de 5 minutos, durante vários dias. Verificou-se que a humidade relativa e os períodos em que ocorreu condensação são bastante menores quando se utilizou o aquecimento por ar quente. Ambos os sistemas foram comparados relativamente ao consumo energético. Para as mesmas condições climáticas exteriores, o sistema de aquecimento por água quente apresentou maior consumo energético que o sistema de aquecimento por ar quente, nas condições testadas.

¹ Dep. Engenharia Rural e Instituto de Ciências Agrárias Mediterrâneas (ICAM), Universidade de Évora, Apartado 94, 7002-554, Évora; e-mail: fb@uevora.pt ² Universidade Politécnica de Madrid, ETSI Agrónomos, Departamento de Ingeniería Rural, 28040 Madrid, Espanha

ABSTRACT

One of the main objectives of the greenhouse production is to obtain a good performance of the crops, which would not be possible outside due to adverse conditions of the environment. However, to achieve suitable internal air temperature and humidity it is usually necessary to use environmental control techniques, as ventilation or heating.

The objectives of this work were: 1. to study the effect of the different heating systems, pipe and air, in the climatic conditions in a Mediterranean greenhouse and 2. to study the influence of these different heating systems on the occurrence of condensation.

External and internal climatic data were collected as the occurrence of condensation on internal surface of the cover material. All data were registered in a Data Logger each 5 minutes, during several days. With air heaters, inside relative humidity was lower comparing to pipe heating. Both strategies were compared concerning the energy consumption. For the same outside conditions, pipe heating presented higher levels of energy consumption than air heaters. With air heaters, the condensation rate on the inner surface of the cover was strongly reduced.

INTRODUÇÃO

Uma característica da produção agrícola é que esta geralmente se realiza em zonas afastadas dos grandes núcleos de consumo. Nesta situação e para produtos de utilização em fresco, o seu carácter perecível e os custos de transporte, justificam a intenção de aproximar os centros produtivos aos de consumo. Esta alternativa requer frequentemente que se cultive em condições desfavoráveis para as plantas, o que exige a sua protecção em ambientes mais adequados ao seu

desenvolvimento, com um custo de operação compatível com o rendimento económico da produção. Enquadra-se aqui o cultivo em estufa (Navas, 1996).

Em contraste com a maioria dos sistemas de produção em agricultura, a produção em estufa permite manipular o crescimento e a produtividade (até certos limites) das culturas através da utilização correcta de técnicas de produção e de condicionamento ambiental (Baptista, 1996). O aquecimento é uma das técnicas de condicionamento ambiental que permite criar as melhores condições no interior da estufa, possibilitando a obtenção de elevada quantidade e qualidade das culturas.

O objectivo do aquecimento é conseguir uma temperatura ambiente próxima daquela que se considera óptima para o desenvolvimento da cultura e evitar a condensação, que poderá ser prejudicial para o estado sanitário das plantas (Pastor, 2004).

A condensação é um fenómeno não desejado que pode ocorrer em estufas, quer sobre a cultura, quer sobre a cobertura, devido a problemas de temperatura e humidade. Ocorre na superfície interna da cobertura logo que a temperatura desta seja inferior à temperatura do ponto de orvalho do ar. A condensação pode ocorrer nas primeiras horas frias do amanhecer, apesar de também se produzir condensação durante a noite e ao fim da tarde, quando a temperatura desce bruscamente e a estufa está com elevado teor de humidade devido à transpiração das plantas.

A condensação provoca efeitos indesejáveis, tais como a redução da transmissão da luz devido à reflexão e o possível gotejamento, que favorece o aparecimento de doenças provocadas por fungos (Baptista *et al.*, 2001). O ideal será manter a temperatura da superfície das folhas acima do ponto de orvalho, de modo a prevenir a ocorrência de

condensação e limitar o aparecimento de doenças nas plantas (Bartzanas *et al.*, 2005).

Para fornecer calor às culturas numa estufa existem várias opções, quer em termos de combustível a utilizar, quer em termos de sistemas de distribuição, dependendo a sua escolha do tamanho da estufa, da sua localização geográfica e do tipo de cultura, entre outros factores (Oliveira *et al.*, 1999).

O calor gerado numa caldeira central de gás ou gasóleo pode distribuir-se através de água quente ou de ar quente, utilizando termoventiladores. Estes equipamentos constam de um permutador de calor formado por uma rede de tubos e de um ventilador. O ventilador impele o ar ambiente da estufa através da rede de tubos, onde o ar é aquecido.

Dentro dos sistemas de aquecimento por água quente, é preciso distinguir o aquecimento da parte aérea da planta, onde as trocas de calor se dão por radiação ou convecção e o aquecimento da parte subterrânea (sistema radicular), cujas trocas são essencialmente por condução (Matallana & Moreno, 1989). A circulação de água quente em tubos localizados no interior da estufa é um dos sistemas de aquecimento utilizados em culturas protegidas. À entrada da estufa, a temperatura da água que circula pelos tubos pode oscilar entre 80/90° C, e no retorno a temperatura da água é aproximadamente 60° C.

Os sistemas de aquecimento com ar quente permitem uma rápida resposta a variações de temperatura e apresentam elevada eficiência térmica (Alvarez & Parra, 1998). As vantagens do ar em relação à água são essencialmente a sua baixa inércia térmica, o menor custo de instalação e a eliminação da condensação quando o jacto de ar é direccionado para a envolvente, bem como o facto dos ventiladores poderem ser utilizados no Verão para a ventilação (Baptista, 2000). No entanto, também tem alguns inconvenientes, tais como: alto consumo

energético, distribuição mais irregular do calor e também um aumento no consumo de energia eléctrica para o funcionamento dos ventiladores (Alvarez & Parra, 1998; Pastor, 2004). A água apresenta como grande vantagem a sua elevada inércia térmica, que permite que após paragem do sistema ocorra uma descida gradual da temperatura (Bernat *et al.*, 1990).

A realização deste trabalho teve como principais objectivos estudar a influência de dois sistemas de aquecimento, por ar quente e por água quente, nas condições de ambiência no interior de uma estufa localizada numa zona Mediterrânica continental. Além disso, pretendeu-se também comparar o efeito destes sistemas de aquecimento na ocorrência de condensação.

MATERIAL E MÉTODOS

A estufa onde foram testadas as estratégias a que se refere este trabalho localiza-se nos Campos de Práticas da ETSIA de Madrid, a 40° 26' 36" de latitude N, a 3° 44' 18" de longitude W e a uma altitude de 595 m.

A estufa é do tipo bi-túnel de tecto curvo e paredes rectas. As suas dimensões são de 20 m de comprimento e 6,6 m de largura (área de 132 m²). A altura de cumeeira e pé direito são 4,5 m e 3 m respectivamente. É formada por uma estrutura de aço galvanizado, com pilares a cada dois metros na parte lateral. O material de cobertura é o metacrilato, com 3 mm de espessura. Dispõe de janelas zenital e lateral, écran térmico e dois sistemas de aquecimento: com água quente (solo radiante) e ar quente (termoventilador). No seu interior cultivava-se *Gerbera jamesonii* em vasos sobre o solo.

Os sistemas de aquecimento existentes na estufa são de dois tipos: **1.** aquecimento por ar quente (termoventiladores) e **2.** por água quente (solo radiante).

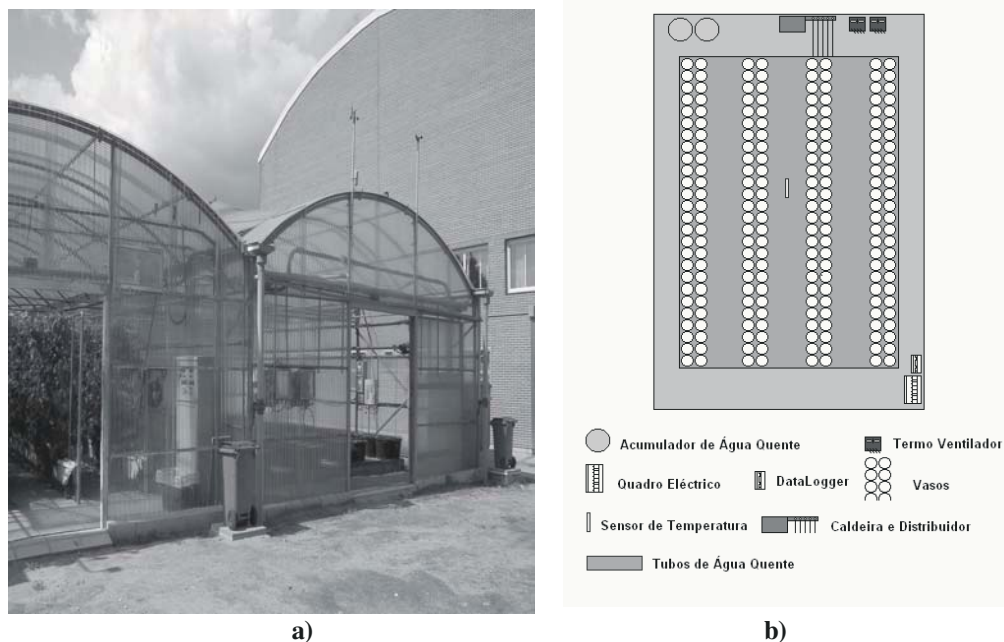


Figura 1 – Vista exterior da estufa (a) e esquema da configuração da estufa com os equipamentos experimentais (b)

1. É composto por quatro termoventiladores de 9 kW cada, dispostos em posições simétricas nas paredes frontal e traseira da estufa, a uma altura de 1,5 m do solo. As ligações eléctricas e automatismos utilizados para accionar o conjunto localizam-se no quadro eléctrico.

2. Consta de tubos enterrados onde circula a água quente e que ocupam uma superfície de 90 m². A sua instalação consistiu em colocar sobre o cimento da estufa, uma camada de isolante térmico, uma lâmina de plástico (que actua como barreira de vapor) e uma malha metálica para conduzir os tubos (540 m) de polietileno reticulado, através dos quais circula a água quente. Este sistema está alimentado por uma caldeira eléctrica de 15 kW.

O aquecimento da estufa realiza-se mediante dois interruptores horários, um

para cada sistema de aquecimento, variando os horários de funcionamento e a potência segundo a estação do ano.

Os dados climáticos exteriores e interiores foram recolhidos com o auxílio de um conjunto de sensores apropriados para o efeito e que permaneceram nas mesmas posições durante todo o período experimental.

As leituras destes sensores foram registradas e armazenadas por dois sistemas de aquisição de dados SAD1 e SAD2 - Equipamentos da marca Datataker modelo DT50-S2.

O SAD 1 foi instalado para armazenar as leituras de temperatura de 3 sensores: um de temperatura exterior, localizado a 1,5 m de altura, e dois para a temperatura do ar interior, a 1,5 m e 3,2 m de altura. Armazenou ainda as leituras do piranómetro, colocado no exterior, para medir a

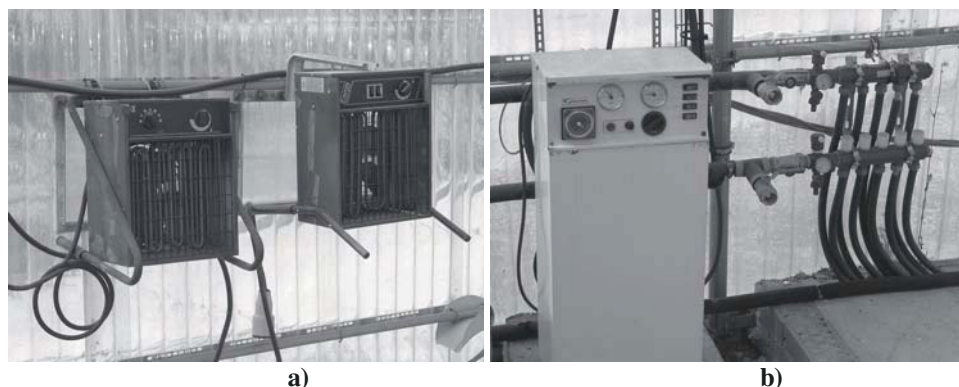


Figura 2 – Vista de termoventiladores da estufa (a) e vista da caldeira e equipamento de distribuição de água quente (b)

radiação solar global entre 0 e 1500 W/m^2 , num intervalo espectral entre 300 e 2800 nm, com uma precisão de $\pm 1,5\%$. O SAD 2 armazenou os valores de velocidade e direcção do vento exterior (sensores instalados 1 m por cima da cumeeira da estufa). Armazenou ainda os valores de humidade relativa exterior (0,25 m por cima da cumeeira da estufa), de humidade relativa interior, medida a 0,5 m de altura, por um higrómetro com um intervalo de medição entre 0 e 100% e uma precisão de $\pm 3\%$, da temperatura do tecto e a presença de condensação na cobertura. As leituras foram de 5 em 5 segundos, sendo armazenadas as médias a cada 5 minutos.

Os sensores de temperatura eram do tipo PT100, com intervalo de medida de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ e uma precisão de $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Durante todo o período experimental estiveram protegidos da radiação solar por uma película de plástico branco. Foi utilizado um computador portátil para descarregar os dados dos SAD 1 e 2 para os posterior análise.

Foram testadas 8 estratégias, divididas em 2 grupos: I (EST 1, 3, 4 e 6) – aquecimento por água quente e II (EST 7 a 10) – aquecimento por ar quente. Nas EST 1, 3, 7 e 8 foi utilizado um écran térmico,

formado por 5 bandas de 4 m, conferindo 75% de sombreamento e 60% de poupança energética. Este era estendido e recolhido mediante um interruptor horário.

Nos Quadros 1 e 2 apresentam-se as características das estratégias em estudo e as horas de funcionamento dos sistemas de aquecimento.

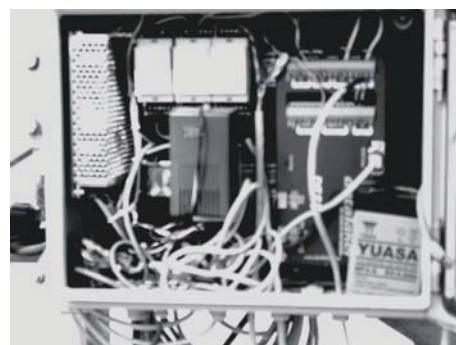


Figura 3 – Detalhe do equipamento de aquisição de dados, da marca Datataker, modelo DT50-S2

Este trabalho esteve inserido num projecto mais amplo, onde também se pretendia estudar diferentes estratégias de ventilação e técnicas de poupança de energia. No entanto,

QUADRO 1– Condições de realização das estratégias

Estratégias	Dias		Écran Térmico	Janela Zenital	Período de Abertura
1	14	Água Quente	Com	Fechada	-
3	13			Aberta (25 cm)	6h - 10h
4	10		Sem	Fechada	-
6	13			Aberta (25 cm)	6h - 10h
7	13	Ar Quente	Com	Fechada	-
8	19			Aberta (25 cm)	5h - 9h
9	17		Sem	Fechada	-
10	22			Aberta (25 cm)	6h - 10h

o objectivo específico deste trabalho era estudar a influência dos sistemas de aquecimento (por água quente e por ar quente) nas condições interiores da estufa. Para tal foi necessário fixar os restantes factores que poderiam influenciar este estudo. Assim, a comparação entre o sistema de aquecimento por água quente e por ar quente foi feita utilizando dados em que a única variável era o sistema de aquecimento utilizado, sendo todos os outros factores constantes.

QUADRO 2– Maneio dos sistemas de aquecimento

Estratégia	Ligado	Desligado
1	21:35 h	11:00 h
3	21:35 h	11:00 h
4	20:35 h	10:35 h
6	21:40 h	11:00 h
7	21:25 h	11:00 h
8	21:30 h	11:00 h
9	21:30 h	11:00 h
10	21:30 h	11:00 h

Os dados utilizados para este trabalho correspondem a médias registadas de 5 em 5 minutos, num período de tempo entre as 20h da noite e as 11h da manhã. Para cada estratégia, após a recolha dos dados foi elaborado um quadro com os valores médios de

cada dia, para cada parâmetro estudado. Finalmente, obteve-se a média geral.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Evolução das condições climáticas interiores e exteriores: Temperatura e Humidade Relativa

Tal como foi referido anteriormente, neste trabalho pretende-se estudar o efeito dos diferentes tipos de aquecimento, pelo que foram comparadas as estratégias 1 e 7, 3 e 8, 4 e 9 e 6 e 10.

Uma vez que cada estratégia foi realizada em dias e até meses diferentes, foi necessário minimizar o efeito das condições climáticas exteriores. Para tal, recorreu-se à diferença de temperatura entre o interior e o exterior da estufa e também ao coeficiente experimental de transferência de calor (K). Este método está de acordo com outros trabalhos desenvolvidos por Bartzanas *et al.* (2005).

As Figuras 4 e 5 mostram a evolução da temperatura e da humidade relativa verificadas no interior e no exterior durante o período entre as 20h e as 11h, para as estratégias com o sistema de aquecimento por água quente e por ar quente, respectivamente.

Os gráficos A (EST 1), B (EST 3), C (EST 4), D (EST 6), E (EST 7), F (EST 8), G (EST 9) e H (EST 10), inseridos nas figuras representam dados relativos ao dia

médio para cada estratégia. Tratam-se de valores médios a cada 5 minutos, de todos os dias em que decorreu cada estratégia, durante o período de tempo estudado (das 20 h da noite às 11 h da manhã).

Nestas figuras é possível observar a subida da temperatura interior e exterior nas primeiras horas do dia, devido ao amanhecer e logo ao aumento dos ganhos de calor devido à radiação solar. No gráfico D e H verifica-se que, no período entre as 6h e 10h da manhã, ocorreu uma descida acentuada da temperatura interior, quando a temperatura exterior se mantém estável. Esta situação é explicada pelas perdas de calor devido à ventilação, já que a essa hora se abriram as janelas.

Em todos os gráficos da Figura 4 verifica-se que a humidade relativa interior é superior à humidade relativa exterior. Pelo contrário, em todos os gráficos da Figura 5, a humidade relativa interior é inferior à humidade relativa exterior. Estes resultados mostram que os sistemas de aquecimento por ar quente permitem controlar facilmente a humidade relativa, o que está de acordo com Perales *et al.* (2003). Outra característica comum nestes gráficos é a subida repentina e acentuada da temperatura interior após o momento em que se liga o sistema de aquecimento, o que se deve à baixa inércia térmica do ar, o que está de acordo com Alvarez & Parra (1998).

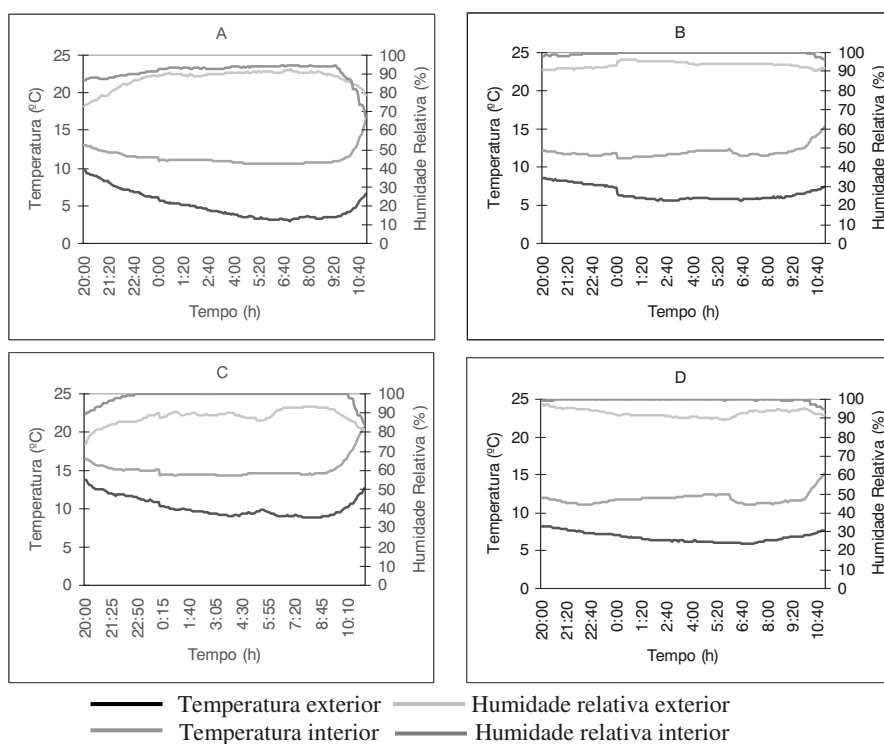


Figura 4 – Evolução da temperatura e da humidade relativa no interior e no exterior, quando se utilizou o sistema de aquecimento por água quente

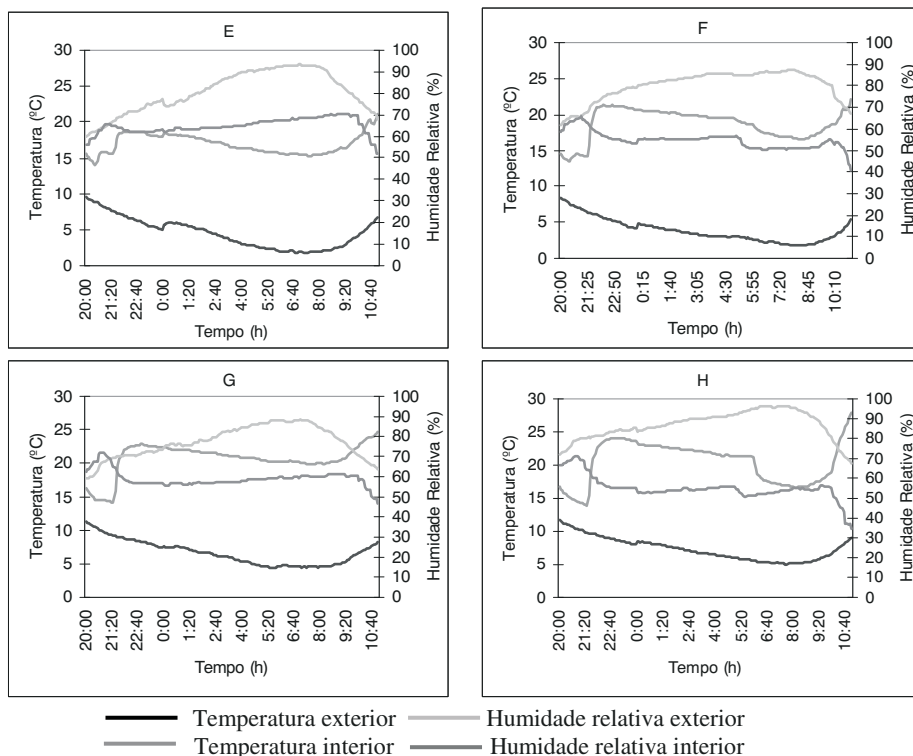


Figura 5 – Evolução da temperatura e da humidade relativa no interior e no exterior, quando se utilizou o sistema de aquecimento por ar quente

QUADRO 3 – Resumo dos valores máximos e mínimos de temperatura e humidade relativa, para o dia médio de cada estratégia

	SISTEMA DE AQUECIMENTO							
	Água Quente				Ar Quente			
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
	1		3		4		6	
t int (°C)	16,3	10,6	15,2	11,1	20,5	14,3	15,2	11,1
HR int (%)	95	67	100	96	100	84	100	95
t ext (°C)	9,7	3,1	8,6	5,7	13,8	8,8	8,2	5,9
HR ext (%)	93	73	96	90	93	74	97	89
	7		8		9		10	
t int (°C)	21,1	14,1	22,1	13,5	24,7	14,2	28,0	13,9
HR int (%)	70	52	66	41	72	47	71	35
t ext (°C)	9,6	1,8	8,5	1,7	11,3	4,4	11,8	5,1
HR ext (%)	93	60	87	62	88	59	96	67

O Quadro 3 mostra os valores máximos e mínimos de temperatura e humidade relati-

va interior e exterior, obtidos para o dia médio de cada estratégia. A observação des-

te quadro permite identificar a maior facilidade com que se atingem valores de humidade relativa interior de 100%, utilizando o sistema de aquecimento por água quente. É também visível neste quadro que os valores de temperatura interior, nas estratégias em que se utiliza o aquecimento por ar quente, são de um modo geral, superiores. Com este sistema de aquecimento, os valores de humidade relativa interior são menores que os verificados com o sistema de aquecimento por água quente, o que está de acordo com os resultados obtidos por Pastor (2004). No entanto, estas diferenças podem ser devidas às diferentes condições verificadas no exterior.

No Quadro 4 apresentam-se os valores médios para cada estratégia realizada. Estes valores foram obtidos a partir das médias diárias de cada estratégia. A média diária resulta da média de todos os valores que constituem um dia (neste caso, os valores medidos no período entre as 20h da noite e às 11h da manhã). Foi calculado para cada um dos parâmetros estudados e representados neste quadro.

A temperatura exterior e a temperatura interior apresentaram valores médios a variar entre 2,7 e 10,2 °C e 11,3 e 21 °C, respectivamente.

O coeficiente experimental de transferência de calor (K), calculado através da expressão $K = Q/(t_i - t_e)$, apresenta valores superiores quando se utiliza o sistema de aquecimento por água quente. Este facto pode justificar-se com os baixos valores de diferença entre temperatura interior e exterior que ocorrem quando se utiliza este sistema de aquecimento.

A diferença de pressão de vapor (DPV), sendo $DPV = e_i^* - e_i$, onde e_i^* é a pressão de vapor em condições de saturação, função da temperatura e e_i a pressão de

vapor actual, função da temperatura e da humidade relativa.

Verifica-se que os valores mais baixos de DPV ocorreram quando se utilizou o sistema de aquecimento por água quente. Esta situação é natural, uma vez que os valores de humidade relativa interior obtidos com este tipo de aquecimento são bastante superiores aos obtidos com o sistema de aquecimento por ar quente.

Os valores relativos à condensação representam a percentagem de tempo, no período entre as 20 h e às 11 h, em que os sensores registraram condensação. Verifica-se que quando se utilizou o sistema de aquecimento por água quente, a percentagem de condensação foi nitidamente superior que quando se utilizou o aquecimento por ar quente. Este facto pode ser explicado pelo acentuado aumento de temperatura do ar ($\Delta t >$) quando se aquece com ar quente comparativamente a água quente. Estes resultados estão de acordo com trabalhos anteriores de Perdignes *et al.* (2005). Estes observaram que em climas mediterrânicos, os sistemas de aquecimento por ar quente melhoram significativamente o controlo do balanço de vapor, principalmente ao manterem a temperatura do ponto de orvalho do ar interior abaixo da temperatura da cobertura, evitando assim a ocorrência de condensação.

Comparação da diferença de temperatura interior e exterior nas várias estratégias

Os gráficos da Figura 6 representam o dia médio e com eles pretende-se comparar os valores da diferença de temperatura entre o interior e o exterior ao longo do período em estudo (das 20 h da noite às 11 h da manhã), entre estratégias com sistemas de aquecimento por água e por ar quente. Em todos os gráficos é comum o facto de os valores

QUADRO 4 – Resumo das médias diárias para cada estratégia

EST	t_e	HR _e	VV*	Q	t_i	HR _i	DPV*	C*	K	Δt (°C)
	(°C)	(%)	(m/s)	(W/m ²)	(°C)	(%)	(kPa)	(%)	(W/m ² °C)	
1	5,0	87,7	0,33	101,68	11,3	91,3	0,116	13,70	16,139	6,3
3	6,6	93,5	0,32	101,68	11,9	99,5	0,006	4,90	18,829	5,4
4	10,2	88,1	0,43	104,50	15,1	98,7	0,024	25,00	21,326	4,9
6	6,8	92,7	0,44	101,33	11,8	99,7	0,004	6,90	19,869	5,1
7	4,5	80,7	0,43	124,39	16,9	64,9	0,710	0,70	10,031	12,4
8	2,7	87,7	0,26	162,66	17,9	61,7	0,799	2,62	10,701	15,2
9	7,0	78,5	0,99	202,64	21,0	61,5	1,000	2,47	14,372	14,1
10	7,3	85,6	0,72	199,01	20,1	63,1	0,891	0,70	15,548	12,8

* VV – Velocidade do vento; DPV – Diferença de Pressão de Vapor; C – Condensação;

da diferença entre temperatura interior e exterior serem menores quando se utiliza o sistema de aquecimento por água quente.

Verifica-se, claramente, que após iniciar o processo de aquecimento, ocorreu um grande salto térmico no caso do sistema de aquecimento por ar quente, enquanto que no sistema de aquecimento por água quente se registraram subidas graduais de temperatura. Este facto é explicado pela diferente inércia térmica do ar e da água. O ar permite uma rápida resposta a mudanças de temperatura pela sua baixa inércia térmica, tal como é referido por Bernat *et al.* (1990), enquanto que a água tem uma elevada inércia térmica (Alvarez & Parra, 1998).

Nas primeiras horas do dia registrou-se uma subida dos valores de diferença de temperatura, quer nas estratégias com água, quer nas estratégias com ar quente, devido ao aumento da radiação solar, como foi referido anteriormente.

Relativamente ao gráfico comparativo das estratégias 6 e 10, verifica-se uma descida brusca dos valores de diferença de temperatura, em ambas as estratégias, no período entre as 6h e as 10h da manhã, que tal como foi já referido se deve à abertura das janelas.

Comparação do consumo de energia nas várias estratégias

Com o objectivo de comparar o consumo de energia, de diferentes sistemas de aquecimento, em condições climáticas exteriores distintas, foi usado o coeficiente experimental de transferência de calor (K). Este coeficiente engloba as perdas por convecção entre o ar da estufa e o material de cobertura, condução através do material de cobertura, convecção cobertura-ar exterior e o balanço de radiação térmica.

Para os dois sistemas de aquecimento, o coeficiente K foi calculado a partir da média diária do consumo de energia ou aquecimento fornecido (Q) e diferença de temperatura entre o interior e o exterior, através da relação já mencionada anteriormente.

Na Figura 7 comparam-se os valores do coeficiente K obtidos para as diferentes estratégias.

Em qualquer dos gráficos representados verifica-se que, ao sistema de aquecimento por água quente correspondem os valores de K mais elevados. A menor diferença entre os valores de K com aquecimento por água quente e os valores de K com aquecimento

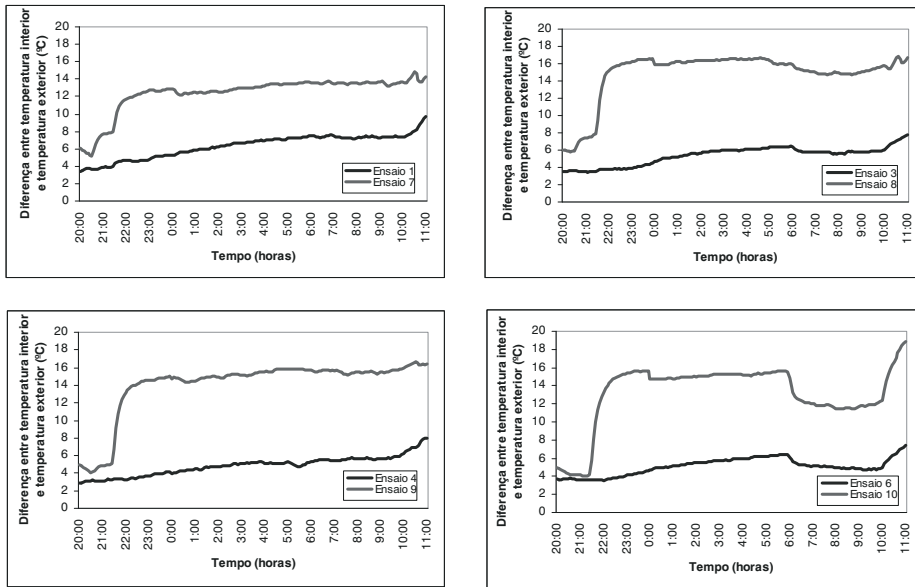


Figura 6 – Diferença entre a temperatura interior e exterior, com o sistema de aquecimento por água quente (—) e por ar quente (—)

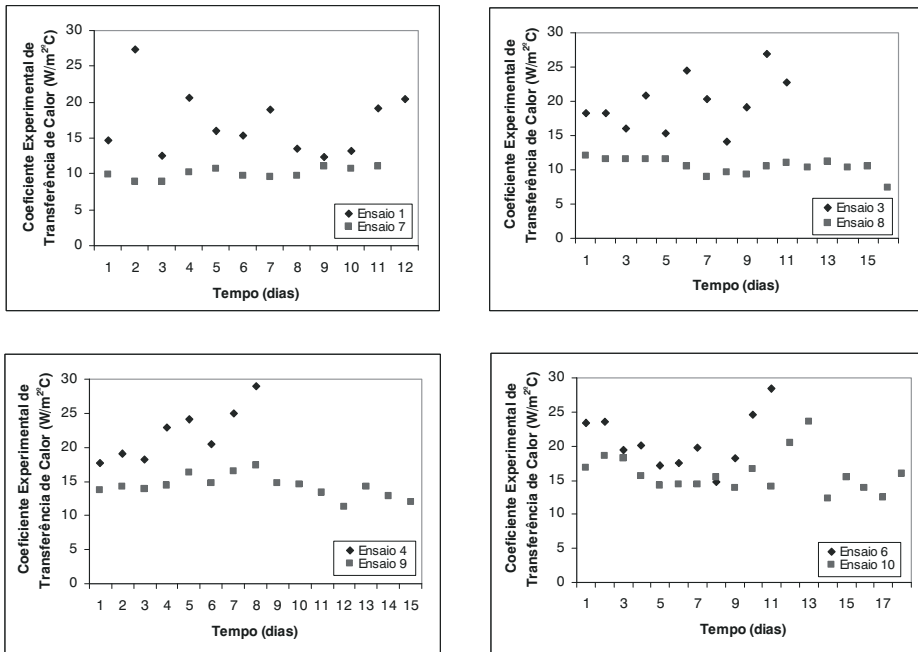


Figura 7 – Comparação entre os valores do coeficiente experimental de transferência de calor com o sistema de aquecimento por água quente (◆) e por ar quente (■)

por ar quente registrou-se na comparação entre as estratégias 6 e 10, em que os valores médios K_6 e K_{10} são de 20,63 W/m²C e 15,92 W/m²C, respectivamente. Esta diferença permite dizer que, mesmo com as mesmas condições climáticas exteriores, o consumo de energia utilizando o sistema de aquecimento por água quente será, no mínimo, 30% mais elevado.

Diferença de Pressão de Vapor e Humidade Relativa Interior

A Figura 8 representa os valores médios da diferença de pressão de vapor e humidade relativa interior, para cada estratégia.

Verifica-se que a utilização do sistema de aquecimento por água quente conduziu a baixos valores de diferença de pressão de vapor, resultantes de valores de humidade relativa interior maior do que os registados com o sistema de aquecimento por ar quente.

Ao contrário, a corrente de ar produzida pelo sistema de aquecimento por ar quente resultou num aumento da diferença de prés

ão de vapor, já que o ar aquecido produziu uma diminuição da humidade relativa no interior da estufa. Neste caso, os valores de diferença de pressão de vapor são sempre maiores que 0,5 kPa, valor que é considerado como mínimo para as condições óptimas de crescimento e produção de culturas em estufa e que frequentemente é utilizado como valor de referência em processos de desumidificação (Bartzanas *et al.*, 2005).

Ocorrência de condensação

Como consequência da situação anteriormente descrita, o sistema de aquecimento por água quente conduziu a maiores períodos com condensação na cobertura.

Por outro lado, o sistema de aquecimento por ar quente produziu uma melhoria no microclima da estufa através do aumento da diferença de pressão de vapor e da redução da condensação na superfície interna da cobertura, o que está de acordo com os resultados obtidos por Bartzanas *et al.* (2005).

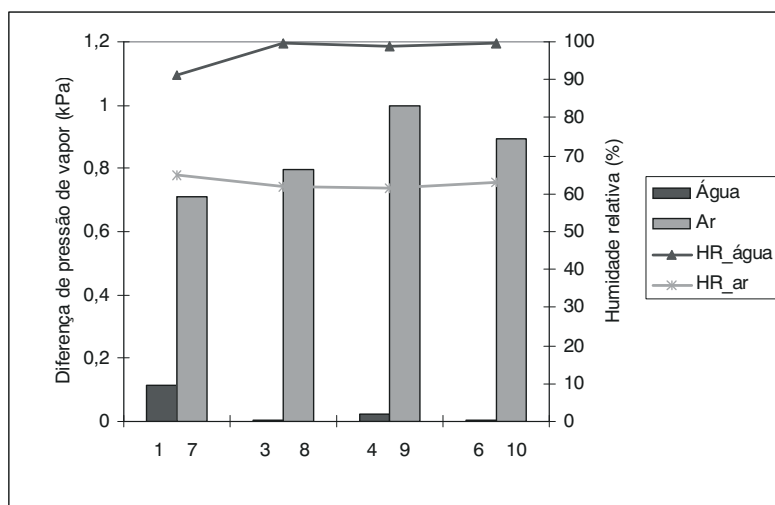


Figura 8 – Diferença de pressão de vapor e humidade relativa utilizando os sistemas de aquecimento por água e por ar quente

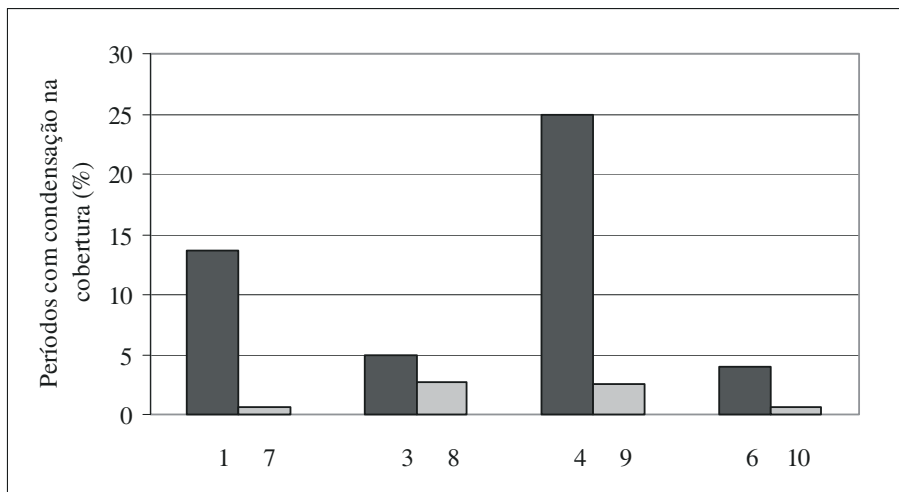


Figura 9 – Comparação dos períodos com condensação na cobertura utilizando os sistemas de aquecimento por água quente (■) e por ar quente (▒)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Julgamos que de forma a completar este trabalho, terá todo o interesse a recolha de dados, utilizando simultaneamente os diferentes sistemas de aquecimento, de modo a que as condições exteriores sejam idênticas. Para as condições estudadas, apresentamos algumas considerações que em nossa opinião indicam o comportamento do clima da estufa sob influência de sistemas de aquecimento por ar e por água quente. Assim,

1 – Verificou-se claramente os diferentes saltos térmicos provocados quando se inicia o aquecimento. No caso do aquecimento a ar ocorre uma variação brusca da temperatura enquanto que no caso do aquecimento a água esta é gradual.

2 – O sistema de aquecimento por água quente originou um consumo de energia, no mínimo, 30% mais elevado do que o sistema de aquecimento por ar quente.

3 – A corrente de ar produzida pelo sistema de aquecimento por ar quente permitiu obter valores de diferença de pressão de

vapor bastante superiores aos obtidos com o sistema de aquecimento por água quente.

4 – O sistema de aquecimento por ar quente permitiu reduzir acentuadamente a ocorrência de condensação na cobertura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, D. J. R. & Parra, J. P. 1998. *Tecnología de Invernaderos II – Curso Superior de Especialización*. Edições Mundi Prensa. 512 pp.
- Baptista, F. J. 1996. Ventilação natural de estufas e métodos experimentais de determinação de caudais de ventilação. Provas de APCC, Universidade de Évora. 102 pp.
- Baptista, F. J. 2000. *Construção e Condição Ambiental de Estufas*. Texto de apoio às aulas de estufas, Universidade de Évora. 40 pp.
- Baptista, F. J., Abreu, P. E., Meneses, J. F. & Bailey, B. J. 2001. Comparison of the

- climatic conditions and tomato crop productivity in Mediterranean greenhouses under two different natural ventilation management systems. Paper nº 3006, pp 112-124. *Proceedings of the Internacional Symposium Agribuilding 2001*, Campinas, Brasil.
- Bartzanas, T., Tchamitchian, M. & Kittas, C. 2005. Influence of the Heating Method on Greenhouse Microclimate and Energy Consumption. *Biosystems Engineering*, **91(4)**:487-499.
- Bernat, C., Andrés, J. J. & Martínez, J. 1990. *Invernaderos: Construcción, Manejo, Rentabilidad*. Editorial AEDOS. Barcelona, Espanha.
- Matallana, A. & Moreno, J. I. 1989. *Invernaderos: Diseño, Construcción y Ambientación*. Edições Mundi Prensa, Madrid. 159 pp.
- Navas, L. M. 1996. *Ahorro Energético en la Climatización de Invernaderos con Cultivos Ornamentales: Establecimiento y Uso de Modelos Sobre el Clima del Invernadero y la Viabilidad de la Bomba de Calor con Accionamiento Eléctrico*. Tese de Doutoramento, Universidade Politécnica de Madrid, 405 pp.
- Oliveira, C. E. L., Garcia, J. L., Benavente, R. M., Sirviente, B. & Munoz M. 1999. Calefacción de Invernaderos. *Vida Rural*, **89**:44-45.
- Pastor, M. 2004. *Efecto de las Estrategias de Control de la Ventilación y la Calefacción sobre el Clima Interior y el Consumo de Energia en Invernaderos*. Tese de Doutoramento. Universidade Politécnica de Madrid.
- Perales, A., Perdigones, A., Garcia, J. L., Montero, J. I. & Antón, A. 2003. El control de la condensación en invernaderos. *Horticultura*, **168**:14-19.
- Perdigones, A., Garcia, J. L., Luna, L., Montero, J. I. & Munoz, P. 2005. Comparative Tests and Modelling of Humidity Control Strategies in Mediterranean Greenhouses Placed in Continental and Coastal Sites. *Acta Horticulturae*, **691**:195-202.