

# ESTUDO EXPERIMENTAL DE PROCESSOS DE CONDICIONAMENTO DE AR

S. S. Bueno e A. L. Seixlack

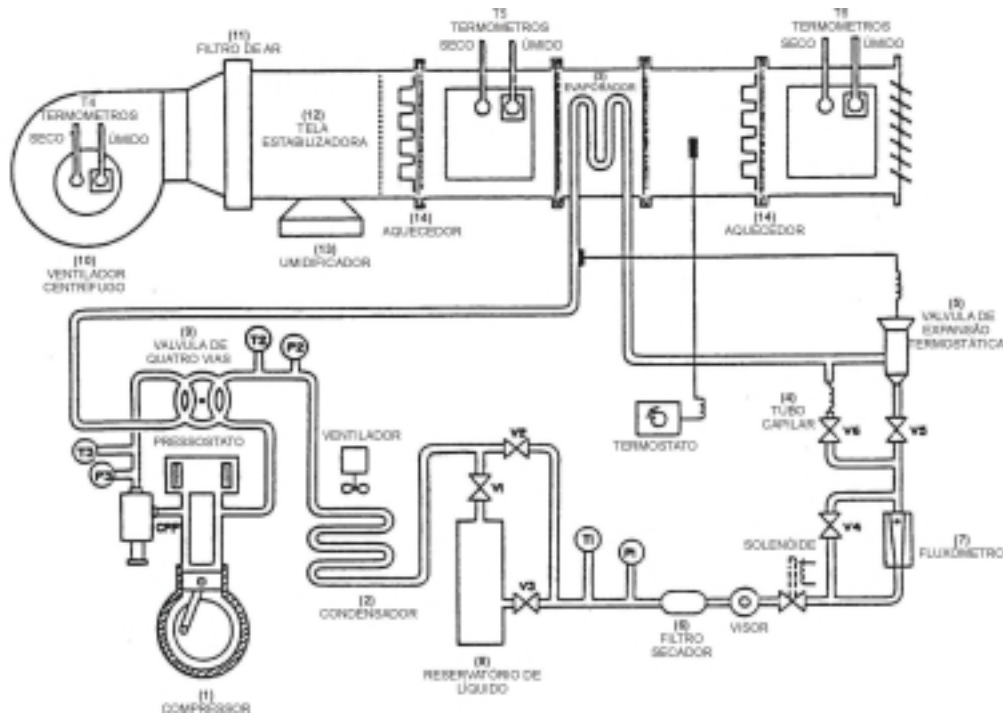
UNESP/Ilha Solteira – Faculdade de Engenharia - Departamento de Engenharia Mecânica  
Av. Brasil Centro 56, Cep. 15385-000, Ilha Solteira – S.P. e-mail: bueno@dem.feis.unesp.br

**Palavras chaves:** Ar Condicionado, Refrigeração, Estudo Experimental.

## RESUMO

No dias atuais os sistemas de refrigeração e ar condicionado estão presentes na maioria dos setores da atividade humana. O grande desenvolvimento desses sistemas permitiu a melhoria das condições de conforto térmico e aliado a isso, os bens de consumo puderam ser produzidos com melhor qualidade, maior rapidez e com maior economia em ambientes nos quais o ar úmido é adequadamente condicionado.

No presente trabalho realiza-se uma análise de processos de condicionamento de ar usando um módulo de treinamento/demonstração do Laboratório de Refrigeração e Ar Condicionado do Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP/Ilha Solteira. O diagrama esquemático desse módulo é mostrado na Figura 1, na qual estão representados os principais componentes físicos, bem como os principais elementos de controle. Este projeto visa, também, colocar o módulo experimental em operação para sua efetiva utilização na disciplina de Refrigeração e Ar Condicionado do curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNESP/Ilha Solteira.



**Figura 1** - Diagrama esquemático do módulo de treinamento/demonstração de processos de ar condicionado (Manual do Curso DAR-5).

O sistema de refrigeração do módulo de ar condicionado emprega o refrigerante R-12 e é constituído por um compressor hermético (1), um condensador resfriado a ar (2), um evaporador de serpentina aletado (3) e um dispositivo de expansão, que pode ser tanto um

tubo capilar (4), como uma válvula de expansão termostática (5). Um filtro secador (6) remove umidade e retém as partículas sólidas que poderiam provocar obstruções no fluxímetro (7) e nos demais componentes do sistema. Um reservatório de líquido (8) é usado para armazenar o refrigerante quando ocorrem reduções de capacidade da unidade ou quando é necessário efetuar algum serviço de manutenção. A válvula de quatro vias (9) permite a inversão da direção do escoamento do refrigerante, fazendo com que o sistema de refrigeração trabalhe como uma bomba de calor.

Uma série de experimentos foram realizados, abrangendo a aplicação prática dos conceitos teóricos dos sistemas de refrigeração e ar condicionado, tais como: (i) operação da unidade de refrigeração usando dois diferentes dispositivos de expansão: o tubo capilar e a válvula de expansão termostática; (ii) operação da unidade como bomba de calor; (iii) levantamento das propriedades psicrométricas do ar úmido; (iv) processo de resfriamento do ar; (v) processos de aquecimento do ar; (vi) umidificação e desumidificação do ar; (vii) controle da umidade relativa do ar usando um processo de reaquecimento; (viii) queda de pressão em um sistema de ar condicionado; (ix) falhas nas unidades de ar condicionado; (x) distribuição do ar e (xi) condensação do vapor d'água.

Para analisar os processos de resfriamento com desumidificação e de resfriamento com umidificação, as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido do ar, registradas na entrada do ventilador, termômetros T4 indicados na Fig. 1, e na saída do duto, termômetros T6 indicados na Fig. 1, foram plotadas em uma carta psicrométrica. Tais temperaturas são apresentadas na Tab. 1. Considerando esses dois processos, com base nos dados da carta psicrométrica, obtém-se os parâmetros registrados na Tab. 2.

**Tabela 1** - Valores das temperaturas do ar na entrada e saída do duto de ar.

	Sem Umidificação	Com Umidificação
T4 (bulbo seco)(°C)	25,0	26,0
T4 (bulbo úmido)(°C)	18,0	16,8
T6 (bulbo seco)(°C)	18,2	18,0
T6 (bulbo úmido)(°C)	14,8	15,5

**Tabela 2** – Valores dos parâmetros  $\dot{m}_a$ ,  $Q_t$ ,  $Q_s$ ,  $Q_l$ , FCS e  $\dot{m}_w$  para os dois processos de resfriamento, com umidificação e com desumidificação.

	Parâmetros					
	$\dot{m}_a$ [kga/h]	$Q_t$ [kW]	$Q_s$ [kW]	$Q_l$ [kW]	FCS	$\dot{m}_w$ [kgv/h]
<b>Desumidificação</b>	932,4	2,59	(-)1,94	(-)0,65	0,75	1,1
<b>Umidificação</b>	932,4	1,04	(-)2,07	1,03	2,0	1,7

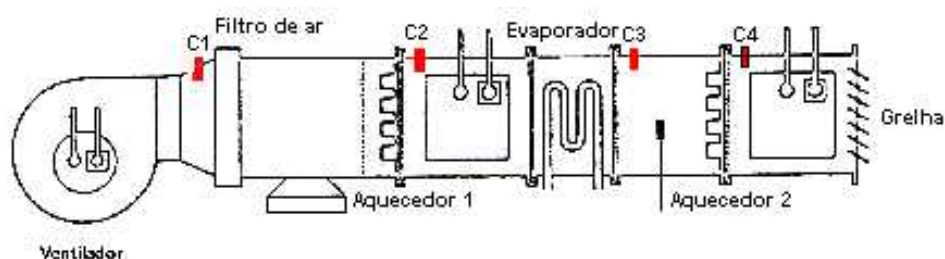
$\dot{m}_a$  = Vazão em massa de ar seco,  $Q_t$  = Calor total cedido pelo ar,  $Q_s$  = Parcela de calor sensível,  $Q_l$  = Parcela de calor latente, FCS = Fator de calor sensível,  $\dot{m}_w$  = Taxa de umidade adicionada ou cedida pelo ar úmido.

Na Tab. 2, observa-se que no processo de resfriamento e desumidificação, ocorre a transferência de calor sensível e latente do ar úmido para a superfície do evaporador. No processo de resfriamento com umidificação, a transferência de calor sensível se dá do ar úmido para a superfície do evaporador e o calor latente é transferido da água em aspersão para o ar úmido.

Além dos processos de resfriamento e desumidificação e resfriamento e umidificação, foram também analisados os processos de aquecimento do ar, de controle da umidade relativa

do ar usando um processo de reaquecimento e a distribuição do ar no ambiente. Informações detalhadas sobre esses experimentos são apresentadas por Bueno (2000).

Em um dos experimentos realizados, foram avaliadas as variações de pressão do escoamento do ar. Para determinar o aumento de pressão induzido pelo ventilador,  $\Delta p_0$ , conecta-se um manômetro de tubo inclinado, através de um tubo plástico: o lado esquerdo, com a entrada do duto, conexão C1 mostrada na Fig. 2, e o lado direito aberto para a atmosfera. A queda de pressão causada pelos diferentes dispositivos ao longo do duto é determinada da seguinte maneira: pelo filtro de ar e pelo aquecedor 1,  $\Delta p_1$ , conectando-se o lado esquerdo do manômetro de tubo inclinado na conexão C1 e o lado direito na conexão C2 (Fig. 2); a queda de pressão no trecho entre o filtro de ar e o evaporador,  $\Delta p_2$ , conectando-se o manômetro de tubo inclinado: lado esquerdo, na conexão C1 e o lado direito, com a conexão C3; a queda de pressão causada pelo aquecedor 2, conectando-se o manômetro de tubo inclinado,  $\Delta p_3$ : lado esquerdo, na conexão C1 e o lado direito, com a conexão C4.



**Figura 2** – Tomadas de pressão ao longo do duto.

Conforme esperado, observa-se na Tab. 3 que a queda de pressão aumenta com o crescimento do número de acessórios colocados ao longo do duto. Além disso, também como esperado, o aumento da velocidade média do escoamento ( $\bar{V}$ ), aumenta a queda de pressão ao longo do duto. Esse aumento é tanto maior, quanto maior a distância da tomada de pressão em relação à entrada do duto.

**Tabela 3**–Medidas das diferenças de pressão ao longo do duto do sistema de ar condicionado.

$V_{Vent.}$ (%)	$V_{Ar}$ (m/s)	$\Delta p_0$ (N/m <sup>2</sup> )	$\Delta p_1$ (N/m <sup>2</sup> )	$\Delta p_2$ (N/m <sup>2</sup> )	$\Delta p_3$ (N/m <sup>2</sup> )
50	2,2	324,7	305,6	321,2	329,9
60	2,8	349,0	319,5	356,0	368,1
70	3,4	385,5	321,2	389,0	401,1
80	3,8	416,7	336,9	430,7	444,5
90	4,3	449,7	340,3	455,0	474,1
100	4,6	475,8	342,1	468,8	494,9

Os experimentos realizados neste trabalho contribuem para desenvolver o conhecimento teórico e prático, essenciais no projeto e manutenção dos sistemas de condicionamento de ar.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo suporte financeiro (bolsa de iniciação científica) e à PROEX – Pró-Reitoria de Extensão Universitária/Unesp.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BUENO, S. S., 2000, *Estudo Experimental de Processos de Condicionamento de Ar*, Relatório Técnico de Iniciação Científica, Proc. FAPESP – 99/08950-9.

[2] Manual do Curso DAR-5, *Ar Condicionado Avançado, Experimentos em Refrigeração e Ar Condicionado*, DEGEM – Sistemas de Treinamento Tecnológico.