



20º POSMEC

SIMPÓSIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Análise experimental das condições ótimas de operação de um sistema de refrigeração convencional

Autor(es):

Arthur Heleno Pontes ANTUNES

Marco Aurélio Rodrigues BERTONI

Orientador:

Enio Pedone BANDARRA FILHO

O correto funcionamento de qualquer sistema de refrigeração operando segundo o ciclo de compressão de vapor deve obedecer a diversos parâmetros termodinâmicos, prevenindo assim, danos aos seus componentes. A idéia principal desta pesquisa foi estabelecer condições ótimas de operação para um sistema de refrigeração através de um planejamento experimental estatístico, a fim de analisar a importância de cada parâmetro no comportamento global do circuito frigorífico em regime permanente.

Os equipamentos que compõem o sistema de refrigeração convencional são: um compressor alternativo, dois trocadores de calor de tubos concêntricos e uma válvula de expansão termostática. Equipamentos pelos quais circulam o refrigerante R22. A Fig. 1 ilustra a bancada experimental.

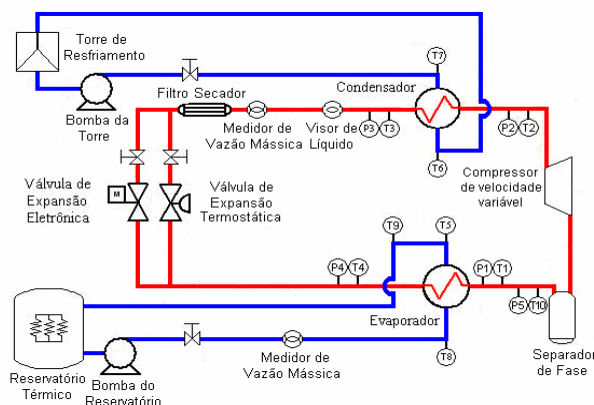


Figura 1 - Representação esquemática do sistema de refrigeração.

Dentre os aspectos termodinâmicos supervisionados durante os testes, encontram-se as temperaturas de evaporação e condensação, o grau do superaquecimento e o grau de sub-resfriamento. Todas estas respostas do sistema devem obedecer a limites, ilustrados na Tabela 1, indicados pelo fabricante do compressor (BITZER) para que o funcionamento da bancada experimental reflita condições normais de condicionamento de ar durante o verão.

Tabela 1 – Limites de operação para condicionamento de ar.

T_{EV} [°C]		T_{CD} [°C]		T_{SA} [°C]		T_{SR} [°C]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
0	5	30	45	6	12	3	10

As temperaturas de saturação nos trocadores de calor adotadas são consideradas as ideais para conforto térmico de pessoas. Temperaturas de evaporação inferiores aos limites acima são empregadas para conservação de produtos, sejam eles resfriados ou congelados.

O grau de superaquecimento positivo é a garantia de que o sistema está operando em segurança sem comprometer a sua eficiência. Este parâmetro foi controlado manualmente através da válvula de expansão, a qual manteve o evaporador com suficiente quantidade de refrigerante, satisfazendo todas as condições de carga térmica previstas para o sistema. Quando o grau de superaquecimento é pequeno ou inexistente, o refrigerante pode encontrar-se em estado de saturação ao entrar no compressor. A fase líquida do refrigerante provoca danos aos mecanismos do compressor. Se o grau de superaquecimento for muito maior que o necessário, podem ocorrer altas temperaturas de descarga do refrigerante, as quais podem causar a carbonização do óleo, gerando desgastes prematuros em todas as partes móveis do compressor. Por fim, quanto maior o grau de superaquecimento do refrigerante, menor será a capacidade frigorífica e por consequência, menor será o coeficiente de eficácia (COP) do sistema.

O grau de sub-resfriamento garante a entrada de R22 líquido na válvula de expansão. Este parâmetro também permite avaliar a massa ideal de refrigerante do sistema. Se esta diferença de temperatura apresentar valores inferiores aos limites, deve-se adicionar carga. Se o sub-resfriamento for muito elevado, deve-se retirar refrigerante do sistema.

A metodologia empregada neste trabalho foi a MSR (metodologia de superfície de resposta). Segundo Calado e Montgomery (2003), usam-se superfícies de resposta quando as variáveis de resposta são influenciadas por muitas variáveis independentes e o objetivo é otimizar essas respostas.

As variáveis de interesse no projeto de experimentos foram: a vazão mássica de água que circula pelo evaporador, a temperatura da água que entra no evaporador e a carga de refrigerante.

Os dois primeiros fatores foram escolhidos com o intuito de estabelecer a capacidade de refrigeração do sistema. Considerando situação de regime permanente, a energia presente no volume de controle ocupado pela água dentro evaporador pode ser quantificada através do princípio de conservação da energia. A Eq. 1 refere-se ao princípio de conservação de energia utilizado para quantificar o calor trocado no evaporador.

$$\dot{Q}_{A, EV} = \dot{m}_A c p_A (T_{A, SAÍDA, EV} - T_{A, ENTRADA, EV}) \quad (1)$$

A temperatura da água na entrada pode ser fixa e administrada por um controlador lógico programável (CLP) em conjunto com os atuadores trifásicos das resistências elétricas. E a temperatura da água na saída do evaporador é uma resposta do sistema. Quando se trabalha em regime transiente, a temperatura da água na saída do evaporador também pode ser fixa e administrada, caracterizando um controle proporcional do tipo liga/desliga.

O terceiro fator escolhido foi a carga de refrigerante. A massa mínima de refrigerante requerida pelo sistema deve ser aquela na qual quando visualizar-se a passagem de refrigerante pelo visor de líquido, este esteja em fase líquida, sem existência de bolhas.

Através do software STATISTICA 6.0, desenvolveu-se um planejamento composto central a três fatores: a vazão mássica de água que circula pelo evaporador, a temperatura da água que entra no evaporador e a carga de refrigerante. Foram planejadas 16 corridas, sendo 8 corridas fatoriais, 6 corridas axiais e 2 corridas centrais. Três pontos centrais foram adicionados, totalizando 19 testes. Os níveis dos fatores adotados e as respostas do sistema estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Níveis dos fatores e respostas para o planejamento composto central.

Testes	Fatores			Respostas							
	$\dot{m}_A$	$T_{A,ENTRADA,EV}$	m_{R22}	$T_{A,SAÍDA,EV}$	T_{EV}	T_{CD}	T_{SR}	T_{SA}	$\dot{Q}_{EV}$	$\dot{W}_{CP}$	COP
	[kg/s]	[°C]	[kg]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[kW]	[kW]	
6	0,35	25,00	2,00	17,76	2,19	39,39	8,50	6,21	10,45	3,14	3,32
9	0,22	27,00	1,80	16,14	1,02	37,35	3,39	6,02	9,64	3,14	3,07
14	0,30	27,00	2,14	18,38	2,67	37,81	11,21	6,15	10,64	3,16	3,37
4	0,25	29,00	2,00	19,14	2,69	39,72	8,15	6,79	10,12	3,14	3,22
10	0,38	27,00	1,80	19,75	3,44	39,21	3,67	6,20	11,61	3,14	3,69
7	0,35	29,00	1,60	21,91	5,02	39,17	1,90	6,18	10,31	3,10	3,32
16c	0,30	27,00	1,80	18,14	2,44	37,34	3,64	6,01	10,91	3,14	3,47
3	0,25	29,00	1,60	20,06	3,95	39,74	1,99	6,22	9,17	3,10	2,96
13	0,30	27,00	1,46	18,68	1,19	34,25	3,04	8,68	10,46	3,17	3,30
18c	0,30	27,00	1,80	18,80	2,92	38,72	3,65	6,26	10,11	3,14	3,21
15c	0,30	27,00	1,80	18,84	3,08	39,16	3,59	6,11	10,16	3,14	3,23
17c	0,30	27,00	1,80	18,38	2,53	39,10	3,57	6,36	10,70	3,14	3,40
1	0,25	25,00	1,60	16,57	0,94	38,44	1,73	6,53	8,72	3,10	2,81
5	0,35	25,00	1,60	18,62	2,37	39,04	1,91	6,39	9,24	3,10	2,98
2	0,25	25,00	2,00	15,34	-1,03	38,59	8,52	6,88	10,14	3,14	3,23
12	0,30	30,36	1,80	20,74	4,42	39,98	3,66	6,29	11,53	3,14	3,67
8	0,35	29,00	2,00	20,83	3,82	39,27	8,46	6,92	11,77	3,15	3,73
11	0,30	23,64	1,80	15,59	0,27	37,90	3,33	6,46	9,81	3,14	3,12
19c	0,30	27,00	1,80	18,16	2,15	38,55	3,50	6,60	10,94	3,14	3,48

A resposta mais importante do planejamento experimental foi o COP que representa fisicamente a razão entre a energia pretendida e a energia consumida no ciclo de refrigeração por compressão de vapor. As superfícies de respostas, visualizadas nas Fig. 2, ilustram o comportamento do COP segundo a variação dos três fatores do planejamento.

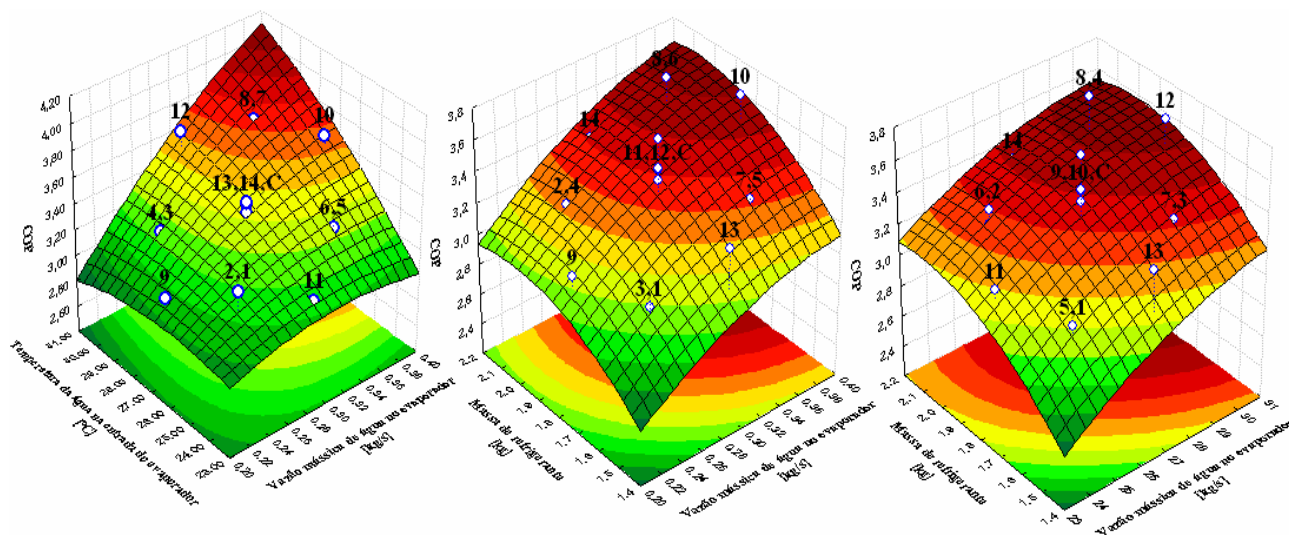


Figura 2 - Superfícies de respostas referentes ao COP do sistema.

Observando-se a Fig. 2, conclui-se que o teste número 8 representa a condição ótima de operação da bancada para uma configuração normal de condicionamento de ar durante o verão. Além disso, as demais respostas, segundo a Tabela 2, concordam com os limites da Tabela 1. Assim, as condições de entrada do sistema (os três fatores do planejamento da corrida 8) serão mantidas para as próximas fases da pesquisa.

A continuação deste trabalho baseia-se em automatizar o sistema convencional, ou seja, utilizar uma válvula de expansão eletrônica no lugar da termostática e utilizar um inversor de frequência no compressor. A terceira fase baseia-se em substituir o R22 pelo R1270, propileno, um fluido refrigerante natural que não degrada o meio-ambiente.

As evoluções na pesquisa resultará em dois novos planejamentos experimentais estatísticos com o objetivo final de comprovar que a automatização do sistema de refrigeração convencional resultará em valores de COPs superiores e que o R1270 pode substituir o R22 nesta aplicação.

Referências

BITZER INTERNATIONAL. **Medição e regulação do superaquecimento e sub-resfriamento**, Boletim de engenharia 21. São Paulo: <http://www.bitzer.de>, 2004.

CALADO, V.; MONTGOMERY, D. **Planejamento de experimentos usando o Statistica**, 1. ed.. Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais, 2003.