

COMPARAÇÃO EXPERIMENTAL DOS REFRIGERANTES R32 E R290 PARA SUBSTITUIR O R22 EM APLICAÇÕES COMERCIAIS DE REFRIGERAÇÃO

Arthur Heleno Pontes Antunes, UFU, Faculdade de Engenharia Mecânica, arthur.h.p.antunes@gmail.com

Luís Manoel P. Souza, UFU, Faculdade de Engenharia Mecânica, luismanuel_tap@hotmail.com

Victor Hugo Panato, UFU, Faculdade de Engenharia Mecânica, vpanato@gmail.com

Enio Pedone Bandarra Filho, UFU, Faculdade de Engenharia Mecânica, bandarra@mecanica.ufu.br

Resumo O presente trabalho consiste em um estudo experimental de dois refrigerantes alternativos capazes de substituir o R22 em aplicações de refrigeração. O sistema de refrigeração foi submetido a três configurações distintas: operando com fluido refrigerante R22, R290 e R32. Os testes experimentais foram realizados em condição de regime permanente, com objetivo de variar toda faixa de operação do compressor para diferentes níveis de abertura da válvula de expansão eletrônica. Permitiu avaliar o comportamento da vazão mássica de refrigerante, da capacidade de refrigeração, do consumo de potência e do COP em todas as configurações. Os resultados experimentais confirmarão a possibilidade de substituir o R22 por um HFC de baixo GWP (R32), e, além disso, a utilização do hidrocarboneto (R290) resultou nos valores máximos da capacidade de refrigeração e do COP

Palavras chave: Refrigeração, R22, R290 e R32

1. INTRODUÇÃO

A emissão de fluidos refrigerantes ou de CO₂ decorrente do uso de sistemas de HVACR está relacionada, principalmente, mas não exclusivamente, com duas questões ambientais globais: destruição da camada de ozônio e aquecimento global. E, a partir de então, os protocolos de Montreal (1987) e Kyoto (1997) buscam através de várias medidas, a redução na emissão destes gases. Entre os gases que agredem o meio-ambiente, destacam-se os fluidos refrigerantes convencionais (CFCs, HCFCs e HFCs).

Segundo Calm e Domanski (2004), desde seu reconhecimento em 1928 e comercialização em 1936, o R22 tem sido aplicado desde pequenos aparelhos de ar condicionado de janela até enormes chillers e bombas de calor. Comercialmente falando, nenhum outro refrigerante atingiu tão vasto campo de aplicações.

Os equipamentos de refrigeração contribuem com o aquecimento global de duas maneiras, direta (em caso de vazamento de refrigerante para a atmosfera) e indireta (quando o dióxido de carbono é emitido após a queima de combustíveis fósseis para gerar energia elétrica, consumida pelos sistemas de refrigeração).

O refrigerante R32 é um HFC que não agride a camada de ozônio e possui um valor baixo de GWP (Global-warming potential) equivalente a 543 (IPCC, 2001). Esta substância possui classificação A2 (baixa inflamabilidade) e baixa toxicidade (ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 34-2001).

Tu et al. (2011) compararam a performance de um modelo termodinâmico utilizando R32 e R410A, posteriormente realizaram ensaios sob diferentes condições de operação em uma bomba de calor residencial de 3,2 kW. Os resultados mostraram que o R32 superou o R410A em 15% no parâmetro capacidade de refrigeração e em 6% no COP.

Os hidrocarbonetos são refrigerantes que atendem o requisito de ODP zero (ozone depletion potential) e, também, possuem potencial de aquecimento global muito baixo. Dados do IPCC (2001) comprovam a grande diferença entre os valores de GWP a 100 anos para o R22 (1780) e para o R290 (20).

Park e Jung (2007) analisaram o desempenho térmico de dois refrigerantes hidrocarbonetos (R290 e R1270) em tentativa de substituir o R22. Os resultados dos testes mostraram que os coeficientes de eficácia dos refrigerantes hidrocarbonetos foram até 11,5% maiores que do R22 em todas as condições.

Este trabalho pretende contribuir com o conhecimento acerca da necessidade de substituir o R22 por refrigerantes alternativos. Para tanto, foi realizado um levantamento experimental com o objetivo de analisar a eficiência energética e os danos ambientais da utilização destes fluidos alternativos. A ideia foi utilizar o refrigerante R22, como fluido de trabalho e, posteriormente, substituí-lo pelo R290 e por fim pelo propano R32. Cada um dos fluidos refrigerantes (R22, R290 e R32) foi submetido a testes realizados em regime permanente.

2. METODOLOGIA

Os três fluidos refrigerantes (R22, R290 e R32) foram submetidos a configurações distintas de testes, todos realizados em regime permanente. Os componentes básicos do sistema de refrigeração não sofreram modificações durante cada carga de refrigerante, representando uma simples operação de “drop in”. A metodologia utilizada 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 aperfeiçoar essas respostas.

O primeiro planejamento experimental, R22, teve por objetivo explorar toda a faixa de frequência de operação do compressor e o efeito da modulação da VEE. Os segundo e terceiro projetos de experimentos foram criados com o intuito de provar que o sistema com propano ou HFC opera de forma semelhante ao sistema com R22.

2.1. Bancada Experimental

Os equipamentos que compõem a bancada experimental são, basicamente, um compressor alternativo, dois trocadores de calor de tubos concêntricos e duas válvulas de expansão eletrônica, além de filtros secadores e instrumentação adequada. Para as medidas de temperatura e pressão foram utilizados sensores de temperatura do tipo RTD PT-100 e transdutores de pressão piezos-resistivos, sendo a aquisição de dados realizada a partir de uma placa eletrônica com sinal de saída analógico. Um medidor de vazão tipo Coriolis foi utilizado para avaliar a vazão de refrigerante no circuito principal. Os sinais analógicos de temperatura, pressão e vazão foram convertidos em digitais através do CLP. Os dados foram monitorados e gerenciados através de uma interface criada com o software LABVIEW.

O fluido secundário (água de alimentação do condensador) circula por uma torre de resfriamento. Por outro lado, a alimentação do evaporador é realizada por intermédio de um reservatório de armazenamento térmico que simula uma carga térmica por meio de uma resistência elétrica, com a função de manter a temperatura estável desejada na água de entrada do evaporador. A resistência elétrica possui uma potência de 15 kW e é comandada por um controlador proporcional, programado no CLP. Um inversor de frequência também foi instalado e tem como função principal controlar a velocidade de rotação do compressor de acordo com a necessidade do sistema. A Fig. 1 ilustra o esquema da bancada experimental.

A questão da compatibilidade entre refrigerante e óleo lubrificante foi considerada. Utilizou-se em todos os testes com o R22 e R290 o óleo mineral 160 P - Danfoss Commercial Compressors Lubricant. O fluido R32 operou com o polyolester 160 PZ - Danfoss Commercial Compressors Lubricant.

A carga de R22 utilizada durante os testes foi de 3,2 kg, valor adotado devido a análises realizadas anteriormente. O sistema carregado com R290 utilizou apenas 1,5 kg. Com R32 utilizou 1,9 kg. As quantidades adotadas para ambos fluidos alternativos garantiram aos sistemas condições de evaporador suficientemente alimentado.

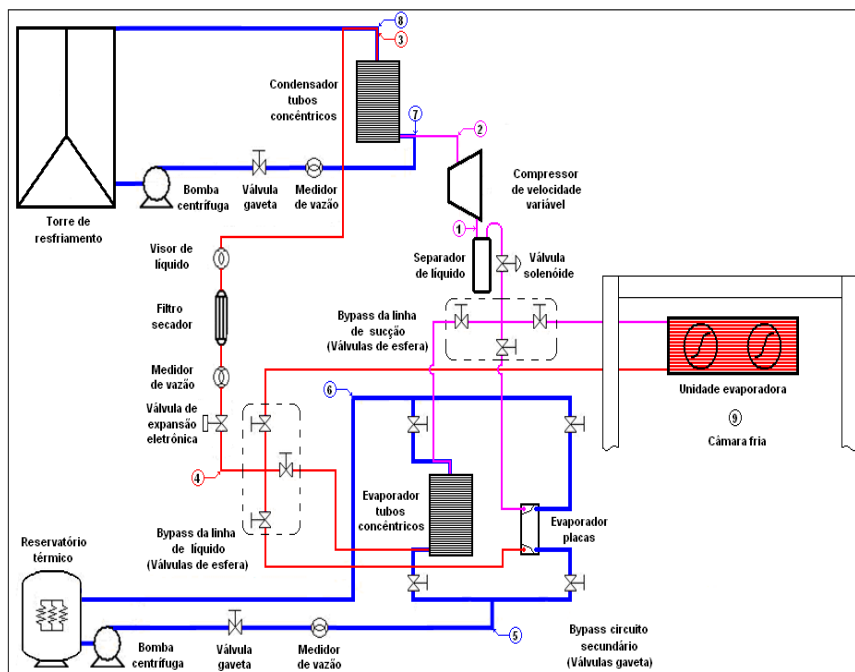


Figura 1: Esquema bancada experimental.

A alimentação do evaporador é realizada por um reservatório de armazenamento térmico que simula a carga térmica por meio de uma resistência elétrica, de potência de 15 kW e é comandada por um controlador proporcional.

Durante as três baterias de ensaios, os parâmetros foram mantidos constantes: Temperatura da água igual a 20°C e vazão mássica do evaporador igual a 0,40 kg/s.

3. RESULTADOS

Os testes do sistema com R32 foram realizados em uma faixa de frequência inferior (32Hz a 47Hz) se comparada às faixas dos demais fluidos (35Hz a 65Hz), frequências mais elevadas não foram analisadas devido ao fato que o sistema com R32 respondia com elevado consumo de potência elétrica, acima de 3,9 kW. Para cada um dos três sistemas foram planejados 13 testes segundo os níveis dos fatores da Tab. 1.

Tabela 1. Valores dos níveis da frequência de operação e da abertura da VEE dos planejamentos experimentais.

Sistema	Fatores do planejamento					
	F_{cp} [Hz]			$Abertura_{VEE}$ [%]		
	Níveis dos fatores					
	Inferior	Central	Superior	Inferior	Central	Superior
R22	40,0	50,0	60,0	50,0	70,0	90,0
R290	40,0	50,0	60,0	50,0	70,0	90,0
R32	35,0	40,0	45,0	35,0	45,0	55,0

O comportamento da vazão mássica no sistema contendo R22 (0,015 a 0,045 kg/s) foi semelhante ao sistema contendo R290 (0,015 a 0,065 kg/s). Esta redução está diretamente relacionada à diferença de calor latente de vaporização, h_{lv} . (R290 > R22). No sistema contendo R32 os valores da vazão não ultrapassaram 0,040 kg/s devido a reduzida faixa de rotação do compressor.

O comportamento da capacidade de refrigeração no sistema contendo R290 foi semelhante ao comportamento da capacidade no sistema contendo o R22, porém para o sistema com R290 os valores foram superiores.

O sistema com R32, mesmo operando na zona de segurança, respondeu com valores significativos para a taxa de transferência de calor no evaporador. Nota-se ainda, através de uma análise menos criteriosa, que os sistemas contendo R22 ou R290, não retornam valores de capacidades de refrigeração tão elevadas quando operam a baixas rotações e pequenas aberturas da VEE.

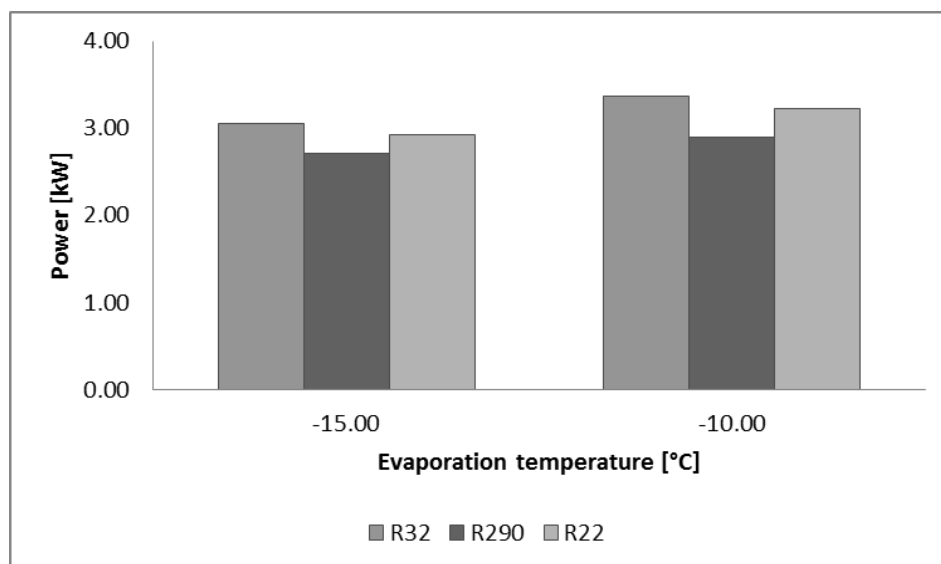


Gráfico 01. Resultados dos testes de bancada – Potência consumida pelo sistema

O COP encontrado, visualizados no gráfico 02, comprova que o sistema contendo o HC mostrou-se excelente para aplicações em baixas e médias temperaturas de evaporação, superando os valores de COP do sistema com o HCFC.

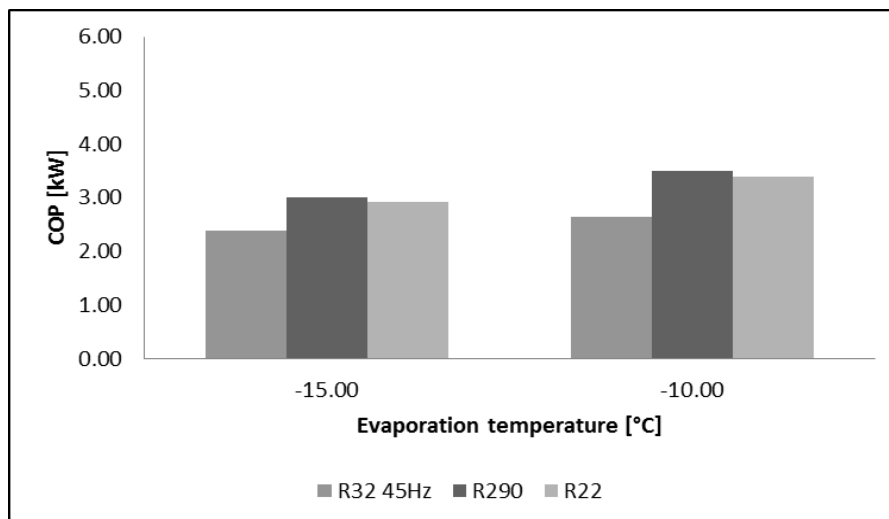


Gráfico 02. Resultados dos testes de bancada – COP

O HFC apresentou valores reduzidos para o COP se comparado a valores de COP alcançados com os demais refrigerantes. A explicação imediata para valores de COP reduzidos está relacionada ao elevado consumo de energia por parte do compressor alternativo do atual sistema, um possível ganho em eficiência para este refrigerante seria alcançado se utilizássemos um compressor scroll, equipamento este, mais indicado para operações com HFCs que apresentam curvas de pressão de saturação mais elevadas.

A principal conclusão refere-se à flexibilidade de operação do sistema. A partir das condições de entrada da água no evaporador, diferentes capacidades foram alcançadas apenas devido à variação da VEE e da frequência de operação do compressor. Estas condições se mostraram ideais para uma aplicação onde a carga térmica seja variável durante o período de funcionamento do sistema.

4. CONCLUSÕES

Os três sistemas de refrigeração (R22, R290 e R32) operaram de forma flexível, as condições de evaporação do fluido principal se estabilizaram durante os testes em valores distintos, representando uma faixa de evaporação de -20°C a 0°C. Para tanto, o compressor operou em distintas frequências e os valores da porcentagem de abertura da VEE modularam entre 30 e 100%. Os resultados obtidos em regime permanente mostraram, através de superfícies de respostas, que a substituição do R22 pelo propano ou pelo R32 é realmente possível.

O custo da carga de refrigerante em sistemas de refrigeração pode ser minimizado de forma geral devido à abundância de HCs na natureza e à carga de operação reduzida, visto que o sistema operando com propano (R290) utilizou apenas 47% da carga adotada para o sistema com R22 neste estudo comparativo. A mesma análise não pode ser realizada para o R32, uma vez que este fluido não está disponível comercialmente no Brasil.

A utilização do hidrocarboneto R290 resultou nos máximos valores de capacidade de refrigeração, superando o R22 em aplicações de refrigeração, já o sistema contendo o HFC mostrou-se competente para aplicações em baixas rotações, uma vez que, ao operar em frequências acima de 50 Hz, o sistema com R32 retornou valores elevados para o consumo de energia elétrica.

Por fim, a análise do comportamento do COP nos três sistemas comprovou que o sistema contendo o HC mostrou-se excelente, superando os valores de COP do sistema com o HCFC.

5. REFERÊNCIAS

- ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 34-2001, Designation and safety classification of refrigerants. American society of heating, refrigerating, and air-conditioning engineers, Atlanta, GA, 2001.
- Calm, M. J., Domansky, A. P., 2004, "R22 replacement status", ASHRAE Journal. Vol. 48, n. 8, pp. 29-39.
- Park, K. J., Jung, D., 2007, "Performance of alternative refrigerants for residential air-conditioning applications", Applied Energy, Vol. 84, pp. 985-991.
- Tu, X., Liang, X., Zhuang, R., 2011. Study of R32 refrigerant for residential air-conditioning applications. International Congress of Refrigeration.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.