

EFEITO DA OPERAÇÃO DE DROP-IN DO FLUÍDO REFRIGERANTE R22 POR FLUÍDOS ALTERNATIVOS NO AQUECIMENTO GLOBAL PELA ANÁLISE DO TEWI

Arthur H. P. Antunes – arthur.h.p.antunes@gmail.com

Luís M. P. Souza – luismanoel_tap@hotmail.com

Victor Hugo Panato – vpanato@gmail.com.br

Enio P. Bandarra Filho – bandarra@mecanica.ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, www.mecanica.ufu.br.

F6 – Materiais e Refrigerantes

Resumo. O foco deste trabalho é a impacto ambiental de três refrigerantes diferentes usados como substituto do R22, para aplicações de refrigeração. O sistema original consiste em um pequeno sistema de refrigeração comercial, que fornece uma capacidade nominal de refrigeração de 15kW. A substituição do R22 por esses fluídos alternativos (R290, R32 e R410A) representa uma operação de drop-in, onde não há alteração nos componentes básicos e operação do ciclo, com exceção do óleo lubrificante. Testes experimentais foram realizados na condição de regime permanente e todo o intervalo de velocidade do compressor foram explorados para diferentes níveis de abertura da válvula de expansão eletrônica (VEE), assim possibilitando a realização de uma análise termodinâmica completa. O uso do hidrofluorcarboneto (HFC), R32, que tem um baixo GWP (Potencial de Aquecimento Global) e ODP (Potencial de Agressão a Camada de Ozônio) igual à zero garantiu uma boa eficiência do sistema de refrigeração. Os resultados mostraram condição regular de eficiência para operação experimental com blend R410A. Finalmente, com uso do Hidrocarboneto (HC) a análise dos danos ambientais (Calculado pelo TEWI – Total Equivalent Warming Impact) provou que o sistema de refrigeração com este fluído é menos agressivo ao meio ambiente que os outros sistemas.

Palavras-chave: R22, R290, R32, R410A, TEWI

1 INTRODUÇÃO

O fluído refrigerante caracterizado tanto por apresentar valores reduzidos de GWP e ODP como pelas excelentes propriedades térmicas é o candidato ideal para redução da degradação do meio ambiente e garantia da boa performance energética de um sistema de refrigeração.

Em relação ao GWP reduzido, supondo a possível situação de vazamento deste fluído de um equipamento, o efeito seria uma pequena capacidade de absorção de raios infravermelhos combinado a uma curta duração de vida das suas moléculas na atmosfera. Outro índice característico dos refrigerantes relevante à questão ambiental é o ODP, este por sua vez equivale à capacidade do fluído refrigerante de destruir a camada de ozônio e depende da porcentagem de átomos de Cloro ou Bromo na molécula.

A emissão direta e indireta de CO₂ equivalente pelas aplicações de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração (HVACR) estão relacionados primariamente, mas não exclusivamente, a duas questões ambientais globais: A degradação da camada de ozônio e o aquecimento global.

Desde os protocolos de Montreal (1987) e Kyoto (1997) várias medidas buscam eliminar ou reduzir a emissão desses gases. Portanto, existe a necessidade imediata de substituir refrigerantes tradicionais, caracterizados pelo alto GWP, por fluídos refrigerantes alternativos menos agressivo ao meio ambiente.

Os HCFCs tendem a serem os mais baratos, no entanto a acelerada fase de eliminação sugere o aumento de preço vinculado à redução na disponibilidade destas substâncias no mercado. Alternativas para os HCFCs estão sendo investigadas por décadas pelas companhias químicas e fabricantes de equipamentos, e através desta colaboração, os substitutos mais utilizados que surgiram são os HFCs e suas misturas. Entretanto, muitos candidatos ainda não atendem aos requisitos do mercado, devido aos efeitos climáticos dos refrigerantes HFC que possuem alto GWP.

Pesquisas atuais e tendências industriais mostram que o HCFC's e HFC's serão gradualmente substituídos por misturas de HFC's ou pelos refrigerantes naturais (Mohanraj *et al.*, 2009).

A diretiva da União Europeia para os gases fluorados regulados e os ares condicionados de veículos, orienta para desenvolvimento de refrigerantes de baixo GWP (*Preparing for HCFC phase-out*, 2009). Os novos refrigerantes de baixo GWP e ODP = 0 devem ter valor máximo de 150 para 100 anos de horizonte de vida. Alguns desses terão aplicações mais amplas, entretanto eles apresentam eficiência relativamente baixa nos sistemas existentes e altos custos.

Em geral, fluídos naturais como água, HC's, amônia e CO₂ são refrigerantes que tem ODP igual a zero e baixo GWP. Além disso, essas substâncias naturais são encontradas em abundância na natureza, cooperando para garantir a competitividade no mercado global. HC's tendem ser menos disponíveis e a amônia é proveniente de fornecedores especializados.

Durante os últimos anos, estudos comparando a performance de refrigerantes sintéticos e naturais em várias aplicações foram publicados. Apesar de consideráveis esforços para aumentar as propriedades térmicas dos fluídos alterna-

tivos e o desenvolvimento de novos projetos e estratégias de controle de sistema, em alguns casos, resultados experimentais inconsistentes foram encontrados (Domanski e Yashar, 2006).

Esse texto objetiva contribuir para o conhecimento sobre viabilidade do uso de refrigerantes alternativos em vez de fluidos refrigerantes tradicionais. A análise refere aos testes de *drop-in*, onde diferentes refrigerantes foram testados na mesma instalação experimental de uma aplicação de refrigeração muito específico.

A ideia foi usar o refrigerante R22 como fluido de trabalho, e então substituir esse por outros refrigerantes: R290, R32 e R410A. A bancada utilizada possui instrumentos e estratégias de controle que permite avaliar o comportamento da vazão da massa de refrigerante, a capacidade de refrigeração, o consumo de energia no compressor e o COP de cada um dos quatro sistemas. Além disso, a análise do impacto ambiental foi calculada da metodologia TEWI.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Domanski e Yashar (2006) apontaram importantes questões para a comparação experimental de refrigerantes. Eles consideram que a categoria da bancada experimental usada para teste de refrigerantes na presente pesquisa (aparato de ensaio) equipadas por compressor com velocidade variável pode fornecer resultados tendenciosos. Isto é importante para garantir que todos os componentes do sistema são otimizados para cada refrigerante individual porque a performance do refrigerante no sistema é fortemente afetada pelos projeto dos equipamentos.

O principal objetivo dessa pesquisa não é comparar o potencial de diferentes refrigerantes, nós não estamos interessados em verificar todas as possibilidades do uso ou criar correlações físicas para substâncias puras, e não há equipamentos suficientes para esta análise específica. Entretanto, 5 anos de trabalho massivo no equipamento básico, conseguimos conhecimento sobre limites de operação e atualizações regulares da presente bancada experimental onde fatores nos permite aplicar a metodologia do *drop-in*.

2.1 Estágio de testes:

Foi realizado no estágio de testes experimentais, 12 testes em condição de regime permanente. A análise destes testes foi realizada por um gráfico comparativo, onde o COP para cada refrigerante foi confrontado.

Os quatro fluidos operaram em três condições de evaporação, -15°C , -10°C e -5°C , e a variação da temperatura de saturação no evaporador foi possível apenas devido ao controle de pressão na saída do evaporador pela modulação (abertura e fechamento) da válvula de expansão eletrônica. A condição de condensação foi similar em todos os testes.

2.2 Refrigerantes analisados:

As características termodinâmicas do R22 tornaram-no adequado a um grande número de aplicações em sistemas de refrigeração comerciais e industriais. É o mais comum HCFC usado como refrigerante. Um fluido composto de hidrogênio, Cloro, Flúor e Carbono. Ele destrói a camada de ozônio, apesar de ser menos estável que os CFC, e é também um gás de efeito estufa. De acordo com o protocolo de Montreal, o R22 deve ser parado de utilizar em 2030 nos países que não estão listados no artigo 5 (países desenvolvidos) e em 2040 nos países do artigo 5 (países em desenvolvimento). Em 2007, parte dos signatários do protocolo de Montreal decidiu acelerar o *phase-out* dos HCFC (*Preparing for HCFC phase-out*, 2009).

Os três fluidos adotados são refrigerantes que tem sido desenvolvido, ou podem ser usados em sistemas que contem R22. Hidrocarbonetos possuem compatibilidade química completa com quase todos os óleos lubrificantes comumente usados em Refrigeração. Entretanto, aditivos lubrificantes de silicone e silicatos não são compatíveis com hidrocarbonetos (Lommers, 2003). O R438A contém um componente HC que é solúvel em óleos minerais existentes. O R410A e R404A são imiscíveis com óleos minerais tradicionais e requerem o uso de óleos sintéticos por causa da miscibilidade e retorno de óleo. Os fluidos de trabalho usados para transferir calor do reservatório de baixas temperaturas para o reservatório de alta temperatura são:

- R32: Um refrigerante HFC, com ODP zero e GWP muito menor que outros HFC's. É considerado um refrigerante com baixa inflamabilidade, definição de segurança A2 pela ASHARE Standard 34 (2004). Atualmente, o R32 é comumente utilizado como componente do R407S e R410A (Yu *et al.*, 2010). HFC são considerados alternativas de "longa duração" considerando o ODP mas como gases de efeito estufa, HFCs estão relacionados no Protocolo de Kyoto e alguns países estão implementando regulamentações para controlar o uso deste (*Preparing for HCFC phase-out*, 2009).

- R290: Propano é um HC que pode ser usado para aplicações de refrigeração e congelamento. É também proposto e usado atualmente em pequenas bombas de calor e sistemas de refrigeração (Park e Jung, 2007 e Palm, 2008). Colbourne e Suen (2000) mostraram as vantagens no uso de HC's em relação ao uso de refrigerantes fluorados. O uso de HCs representa melhora de performance na ordem de 6% para aplicações de refrigeração doméstica, 15,0% para aplicações de refrigeração comercial, 8,8% para ar condicionado e 9,6% para bombas de calor. Park e Jung (2007) analisaram o desempenho térmico de dois hidrocarbonetos (R290 e R1270) numa tentativa de substituir o R22. Eles usaram uma bancada experimental representando um sistema de ar condicionado / bomba de calor com capacidade de 3,5kW. Os testes mostraram que o coeficiente de eficiência dos hidrocarbonetos foi 11,5% maior que o R22 em todas as condições. Este fluido tem boa propriedade termodinâmica, mas é inflamável. Esse problema requer esforços adicionais no

projeto, manufatura e serviços no equipamento. Corberán *et al.* (2008) resumiram em seu trabalho as principais normas de segurança adotadas para o uso de refrigerantes hidrocarbonetos. ASHRAE Standard 34 (204) classifica este refrigerante como classe 3 (fluido de alta inflamabilidade) enquanto a ISO 817 e EN 378 classificam como A3 (Baixa toxicidade e alta inflamabilidade) (2000). Na presente pesquisa foi usada a norma EN 378, onde a máxima carga calculada foi 1,5kg para esse hidrocarboneto. Outro ponto observado foi: Locais autorizados, requerimentos de construção para sistema mecânico e recursos externos associados com a instalação, como a ventilação.

- R410A: É uma mistura de HFC's designado como um substituto de "longa duração" para o R22. Como o R22, essa mistura é classificada pela ASHRAE Standard 34 (2004) como A1 (sem propagação de chama). É uma mistura zeotrópica: na mudança de estado (condensação ou evaporação) a temperatura varia. A temperatura Glide varia para os diferentes componentes, e este fator faz alguns desses refrigerantes (blends) inadequados para substituir o R22. O óleo lubrificante padrão usado com R410A como poliéster (POE) e o Éter Polivinílico (PVE) possui insuficiente miscibilidade com R32 (Ota e Araki, 2010). Quando a relação entre a miscibilidade do óleo / refrigerante é baixa, o óleo tende a permanecer no evaporador e não retornar ao compressor. Isto pode causar uma queda no desempenho do sistema e uma pobre lubrificação do compressor. Okido *et al.* (2012) obteve sucesso no desenvolvimento de um novo óleo POE que elimina este problema. Yunho *et al.* (2007) comparou a performance do R290 com R404A e R410A para sistema de refrigeração. Os COP's do R404A e R410A foram 11-12% e 4-9% menor, respectivamente que o R290 para operações de iguais capacidades. Da Silva *et al.* (2012) avaliaram a eficiência energética e desempenho climático dos três diferentes sistemas usando aplicações de supermercado, um ciclo cascata (CO2/R404A) e também R404A e R22 com sistema de expansão direta. O impacto na atmosfera do sistema operando em cascata com CO2 foi muito menor que os dois sistemas de expansão direta.

Diferenças na propriedade termodinâmicas desses refrigerantes podem ser visualizadas no diagrama pressão-entalpia, como mostrado na Fig. 1.

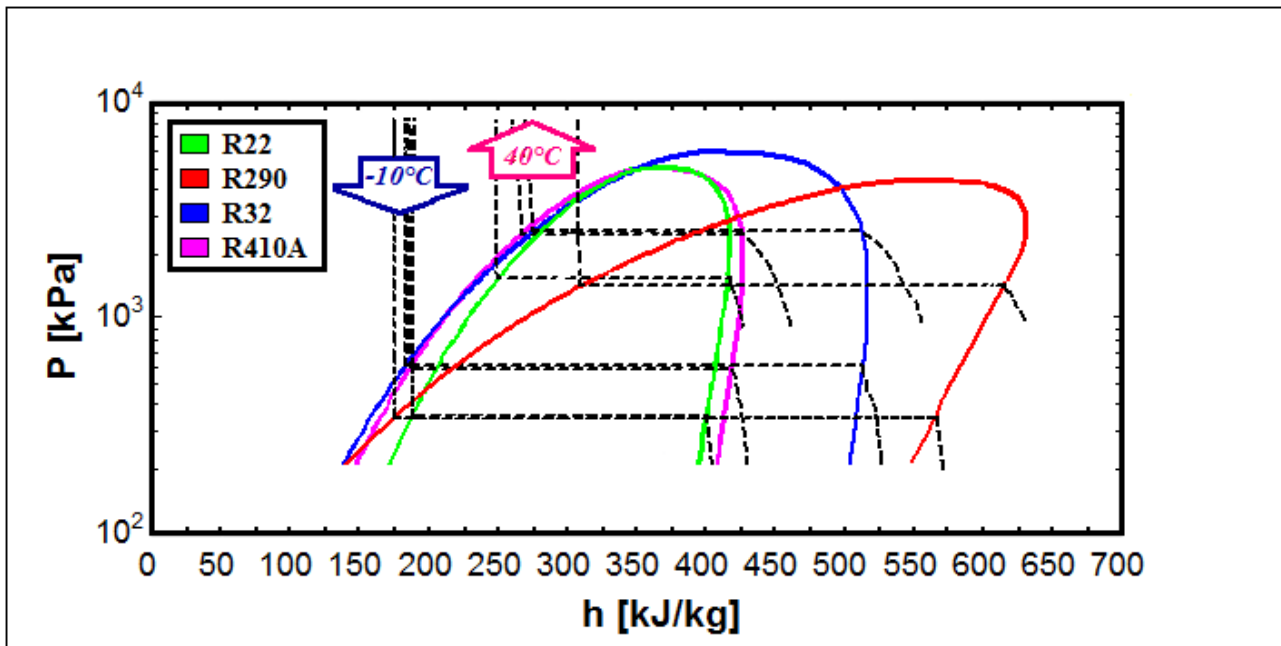


Figura 1. Diagrama Pressão-Entalpia para comparação de vários refrigerantes.

As quatro curvas isotérmicas (-10°C) apontam a grande diferença entre as condições de evaporação. O calor latente de evaporação (Δh_{LV}) do R290 é maior que dos outros. Uma condição de teste onde a capacidade de refrigeração é mantida constante para todos os refrigerantes mostrará que a diferença de Δh_{LV} tem influencia direta na redução dos valores de fluxo de massa do R290 comparada com R22.

2.3 Bancada Experimental:

A bancada experimental é composta por um compressor semi-hermético alternativo, dois trocadores de calor de tubos concêntricos (refrigerante/água), uma VEE e toda instrumentação apropriada. Os sinais analógicos de temperatura, pressão e vazão são convertidos em digitais através de um controlador lógico programável (CLP). Os dados são monitorados e gerenciados através de uma interface criada com o programa LABVIEW. O fluido secundário, água, circula pelo condensador e por uma torre de resfriamento propriamente dimensionada. Por outro lado, o calor transferido ao refrigerante em seu processo de evaporação é gerado propositalmente em um reservatório de armazenamento térmico contendo água, a qual se mantém à temperatura estável desejada por meio de uma resistência elétrica com 15 kW de potência.

mineral pelo polyolester para a realização dos testes com R32 e R410A. O último sistema operante, R410A, trabalhou com a mesma carga do R22. As cargas adotadas para os quatro sistemas foram suficientes para manter os trocadores operando de forma eficiente. Cargas elevadas resultaram em altas pressões de trabalho e em excessivo consumo de energia elétrica pelo compressor.

Durante os testes, os parâmetros responsáveis pela simulação da carga térmica foram mantidos constantes para todos os refrigerantes, ou seja, a temperatura e a vazão mássica da água na entrada do evaporador foram mantidos a 20°C e 0,40 kg/s. Estes valores asseguraram tanto as condições requeridas durante os testes como o grau mínimo de superaquecimento de 2°C.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O correto funcionamento de qualquer sistema de refrigeração operando de acordo com o ciclo de compressão de vapor exige que alguns parâmetros termodinâmicos sejam monitorados e controlados, entre estes parâmetros estão as temperaturas de evaporação e condensação, o grau de superaquecimento (medido imediatamente após a saída do evaporador) e o grau de subresfriamento.

A potência consumida pelo compressor foi considerada como um parâmetro limite de operação para os quatro tipos de fluidos refrigerantes estudados. Neste caso específico, a potência não excedeu o valor 3,8 kW, valor esse limitado pelo inversor de frequência instalado no compressor.

3.1 Etapa de Resultados:

Na Tab. 3 são apresentados os resultados referentes à fase de testes experimentais. Os quatro fluidos foram avaliados sob diferentes condições de evaporação. Nota-se que os valores de capacidade de refrigeração foi de 7,4 kW para temperatura de evaporação de -15°C, enquanto que para -10°C de evaporação, a capacidade de refrigeração subiu para 8,9 kW. Finalmente, a maior capacidade de refrigeração alcançada foi de 10,9kW para uma temperatura de evaporação de -5 °C.

Tabela 1. Resultados experimentais.

Sistema	F_{VSC} [Hz]	T_{CD} [°C]	T_{DC} [°C]	ΔT_{SA} [°C]	ΔT_{SR} [°C]	\dot{m} [kg/s]	\dot{Q}_{REF} [kW]	\dot{W}_{VSC} [kW]	COP [-]
$T_{EV} = -15,00$ [°C]									
R22	65.0	36.30	100.10	35.00	9.30	0.0390	7.41	2.92	2.54
R290	65.0	37.80	85.00	36.00	12.50	0.0212	7.46	2.71	2.75
R32	45.0	31.90	117.00	33.30	1.30	0.0260	7.50	3.04	2.47
R410A	45.0	32.60	108.00	33.00	3.60	0.0370	7.42	3.12	2.38
$T_{EV} = -10,00$ [°C]									
R22	65.0	37.70	94.00	27.50	8.70	0.0478	8.84	3.22	2.83
R290	65.0	39.70	79.50	29.00	11.70	0.0262	8.89	2.89	3.08
R32	45.0	32.10	113.30	25.00	1.20	0.0316	8.92	3.28	2.72
R410A	45.0	32.90	103.00	25.80	2.40	0.0459	8.90	3.36	2.65
$T_{EV} = -5,00$ [°C]									
R22	65.0	39.90	89.00	21.60	8.30	0.0610	10.96	3.51	3.12
R290	65.0	40.30	75.20	22.00	11.20	0.0332	10.97	3.18	3.45
R32	45.0	32.20	104.00	17.60	1.00	0.0395	10.91	3.57	3.06
R410A	45.0	33.00	99.00	19.50	2.30	0.0575	10.93	3.63	3.01

Os experimentos realizados com R22 e R290 tiveram como frequência nominal 65Hz, enquanto os demais experimentos utilizam frequência de 45Hz. A explicação para a utilização de frequência reduzida em sistemas com HFC está relacionada com o elevado consumo de energia do compressor. Um ganho possível em termos de eficiência para esses sistemas seria alcançado se utilizado um compressor tipo scroll, este equipamento é adequado para operações com HFC, uma vez que apresentam as curvas de pressão de saturação superior quando comparadas aos demais fluidos estudados. Lembrando que o consumo está diretamente ligado a frequência de operação no que neste caso não excedeu 3,8 kW.

O comportamento do COP mostrado na Fig. 3 evidencia que o sistema contendo HC possui uma excelente aplicação a média temperatura de evaporação excedendo assim os valores do COP alcançados com os demais fluidos.

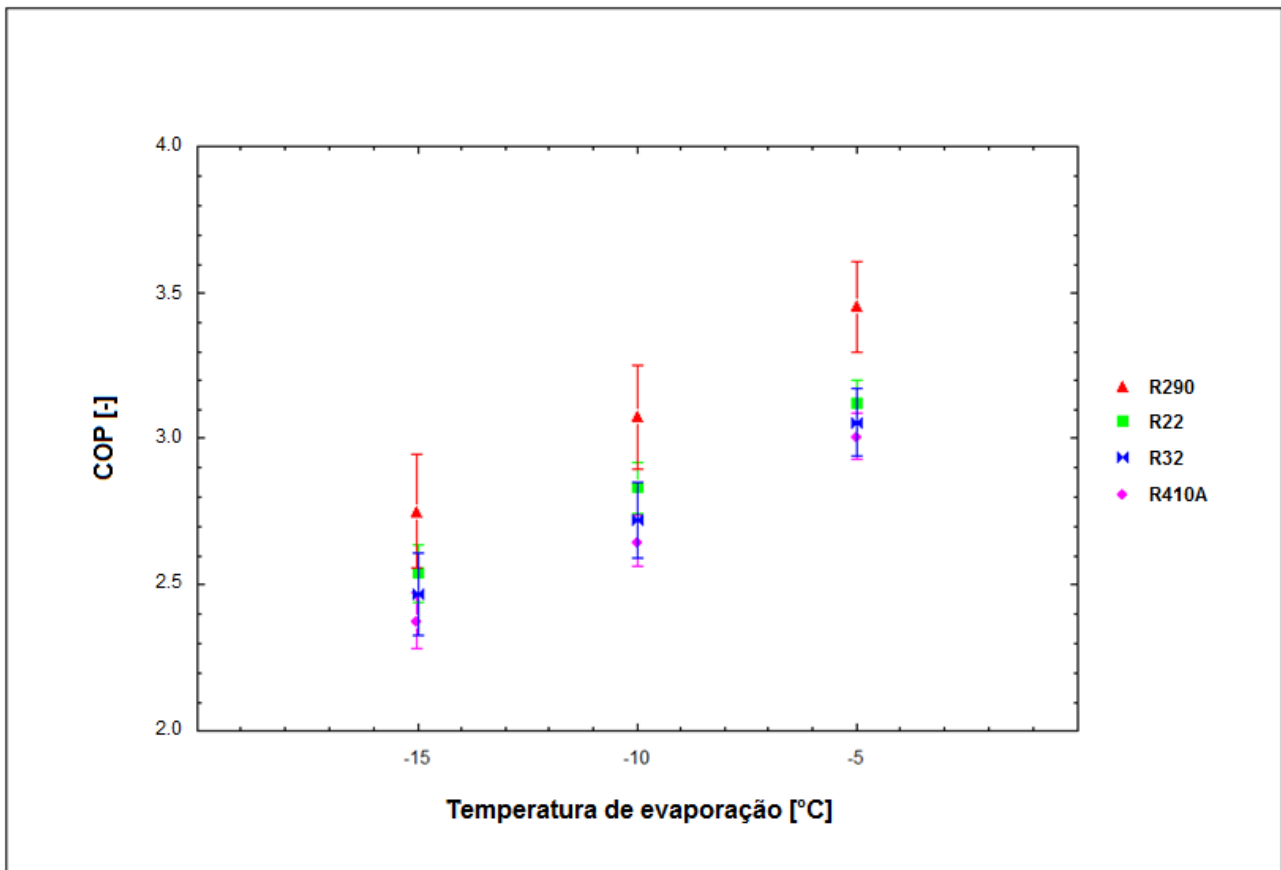


Figure 3. Testes comparativos entre os quatro refrigerantes, COP de acordo com as condições de evaporação

O impacto causado ao ambiente foi calculado com base o TEWI. Este método considera os impactos diretos e indiretos associados ao uso de fluidos refrigerantes em aplicações no setor de HVACR. A Eq. 2 representa a metodologia utilizada neste cálculo.

$$TEWI = CO_2 equ_{DIRETO} + CO_2 equ_{INDIRETO} \quad (2)$$

O efeito direto pode ser calculado pela Eq. 3.

$$CO_2 equ_{DIRECT} = M_{REF} L_{RATE} L_{TIME} GWP + M_{REF} (1 - \alpha) GWP \quad (3)$$

Onde:

M_{REF} : Massa de refrigerante no sistema, [kg];

L_{RATE} : Taxa anual de refrigerante emitido (substituição e vazamento), [%];

L_{TIME} : Tempo de vida útil do equipamento [anos];

α : Recuperação / reciclagem ao final da vida útil do equipamento [%].

Para realização dos cálculos adotou-se uma vida útil de 10 anos para o sistema com todos os fluídos. A emissão direta de fluido refrigerante na atmosfera pode ser dividida em 04 categorias:

- Vazamentos durante a operação normal;
- Perdas catastróficas acidentais;
- Perdas durante a manutenção da planta;
- Perdas no fim de vida útil da planta (descarte);

De acordo com o método de cálculo do Total Equivalent Warming Impact (*Methods of calculating Total Equivalent Warming Impact (TEWI)*, 2012), os vazamentos anuais (operações normais, perdas catastróficas e serviços de ma-

nutenção) foi de 12,5% para um sistema centralizado. Utilizou-se 70% para as taxas de recuperação dos fluidos refrigerantes ao final da vida útil, valor esse sugerido para sistema com carga de refrigerante menor do que 100kg.

Foram usados os valores para GWP de acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Fourth assessment report, 2007*).

O Impacto indireto no aquecimento global pode ser calculado pela Eq. 4.

$$CO_2\text{equ}_{\text{INDIRECT}} = \beta E_{\text{ANNUAL}} L_{\text{TIME}} \quad (4)$$

Onde:

E_{Anual} : Energia elétrica consumida pelo equipamento, [kWh/ano];

β : Emissão de CO2 para geração de eletricidade, [kg CO2/kWh].

A potência elétrica do equipamento foi medida e apresentada na Tab. 1. O total de horas em operação foi admitido como sendo a mesma para ambos os sistemas. A emissão de CO2 por kw de energia elétrica gerada é um valor extraído do *CO2 Emissions from fuel combustion, International Energy Agency (2011)*. Na Fig. 4 é apresentado a análise do impacto de aquecimento equivalente para cada configuração da instalação experimental.

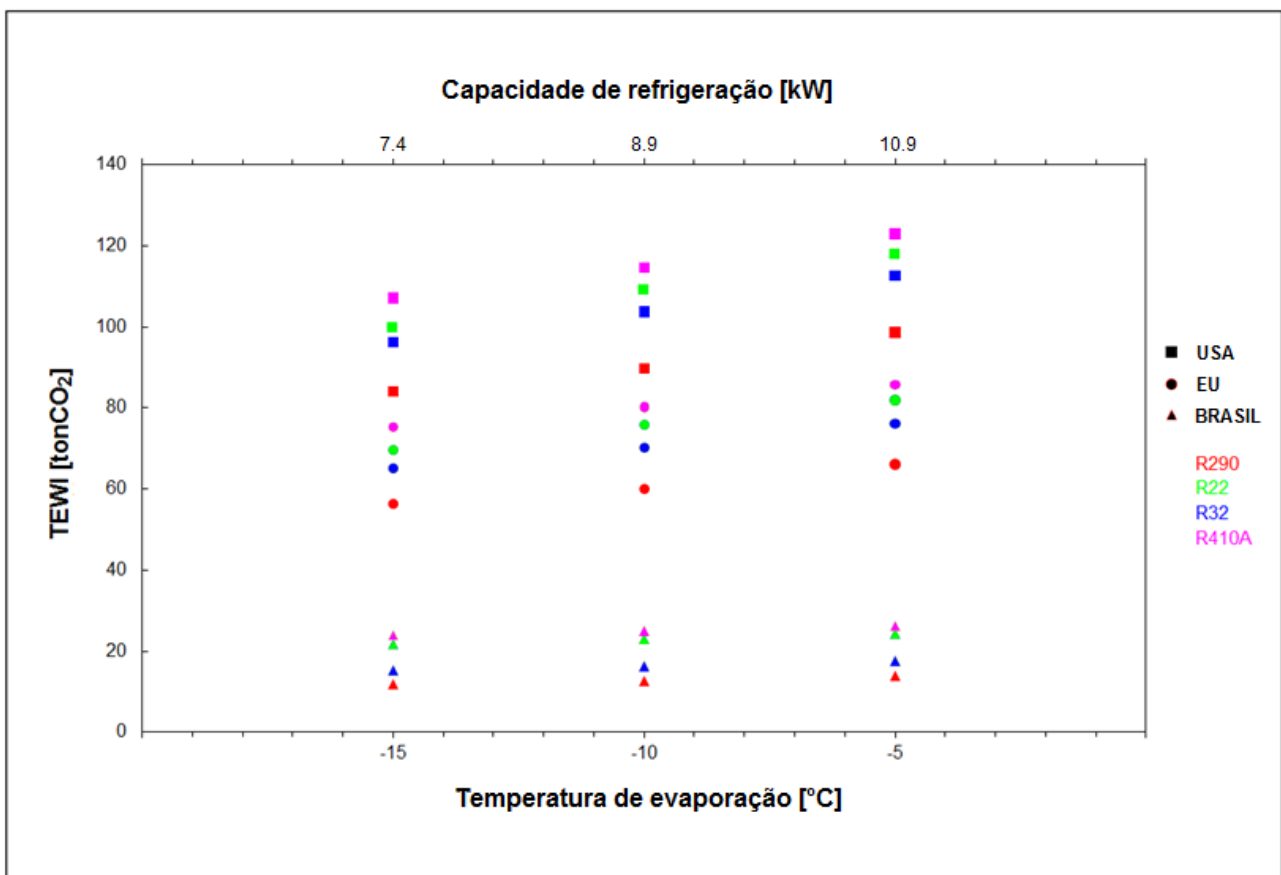


Figura 4. Análises comparativas do TEWI para os sistemas com diferentes condições de operação e localidades.

A economia de energia é importante pois reduzir o impacto indireto e, conseqüentemente o TEWI. Este fato pode ser observado quando comparado os resultados do TEWI dos sistemas com R22 e R290 que apresenta maior COP. É importante observar que o parâmetro das emissões de CO2 para geração de energia elétrica também é muito importante. Alguns países têm valores elevados para emissões devido principalmente à sua matriz energética, como é o caso dos EUA (0,531 kgCO2/kWh). O uso de um fluido refrigerante com baixo GWP reduz o dano referente ao impacto direto no meio ambiente, esse fato é observado quando se compara o valor de TEWI para o sistema com R410A (GWP = 2088) para o sistema com R32 (GWP = 675) ou como último exemplo, comparando R410A com R290 (GWP = 3,3).

Há ainda outro índice para cálculo do impacto de um sistema de refrigeração, o LCCP (Life Cycle Climate Performance). Mais abrangente, ele considera alguns itens que são excluídos no cálculo do TEWI. Estes itens são as emissões diretas (fugas) durante a fabricação de equipamentos e fluídos, e a emissão de gases de efeito estufa associados com energia utilizada na fabricação desses fluídos (indireto).

4 CONCLUSÃO

Quando comparadas as propriedades termodinâmicas entre o R22 e os fluidos alternativos a esse (R290, R32 e R404A) mostra que a substituição é realmente possível.

Os resultados aqui apresentados são importantes pois mostram os limites de operação em um sistema de refrigeração originalmente projetado para R22 e que aceita a metodologia de *drop-in*.

O uso do R290 resultou em máximos valores na capacidade de refrigeração, exceto no caso do R22 utilizando média temperatura de evaporação. Vantagens adicionais para o uso dos HC's em relação ao uso dos HCF's e R22 também são verificadas tais como redução no consumo de energia elétrica, redução da massa de fluido refrigerante utilizada, baixo valores de compra dos HC's e baixo GWP e baixas emissões de carbono.

O comportamento dos sistemas avaliados, com a mesma capacidade de refrigeração, mostrou que o sistema com HC possui o COP superior para toda a faixa de evaporação explorada no presente estudo, ou seja, -15°C, -10°C e -5°C.

Finalmente, a comparação do TEWI demonstra que quando o sistema apresenta maior desempenho ocorre à redução dos efeitos diretos e indiretos no aquecimento global. Quando utiliza-se refrigerante com baixo GWP reduz os impactos para o meio ambiente, esse fato é observado quando se compara o valor do TEWI do R410A (GWP = 2.088) em relação ao valor do TEWI do R32 (GWP = 675), ou no caso da comparação do R410A e R290 (GWP = 3,3).

Finalmente, existem inúmeras vantagens, que garantem que os sistemas de hidrocarbonetos possuem lugar de destaque nos sistemas de refrigeração.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte dado à pesquisa pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa - MG (FAPEMIG).

5 REFERÊNCIAS

- ASHRAE Standard 34: Designation and Safety Classification of Refrigerants, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2004.
- BS EN 378, 2000, Refrigerating Systems and Heat Pumps e Safety and Environmental Requirements, BSI, London.
- CO2 Emissions from fuel combustion, International Energy Agency; 2011.
- Colbourne, D. e Suen, K. O., 2000, Assessment of performance of hydrocarbon refrigerants, Proceedings of the IIR Gustav Lorentzen fourth conference on natural working fluids, Purdue, USA.
- Corberán, M. J., Insured, J., Colbourne, D., González, J., 2008, Review of standards for the use of hydrocarbon refrigerants in A/C, heat pump and refrigeration equipment, International Journal of Refrigeration, Vol. 31, n. 1, pp. 748-756.
- Da Silva A., Bandarra Filho E.P., Antunes A.H.P., 2012, Comparison of a R744 cascade refrigeration system with R404A and R22 conventional systems for supermarkets, Applied Thermal Engineering, Volume 41, pp. 30-35.
- Domanski, P. A. e Yashar, D., 2006, Comparable Performance Evaluation of HC and HFC Refrigerants in an Optimized System. IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, 7th. Proceedings. May 28-31, Tondheim, Norway, 2006.
- Fourth assessment report, Intergovernmental Panel on Climate Change; 2007. <http://www.ipcc.ch/>.
- Hwang, Y., Jin, D., Radermacher, R., 2007, Comparison of R-290 and two HFC blends for walk-in refrigeration systems, International Journal of Refrigeration, 30, pp. 633-641.
- Lommers, C. A., 2003, Air conditioning and refrigeration industry refrigerant selection guide – 2003. ISBN 0-949436-41-0, The Australian Institute of Refrigeration, Air Conditioning and Heating Inc (AIRAH), Seventh Edition, Australia.
- Methods of calculating Total Equivalent Warming Impact (TEWI) 2012, The Australian Institute of Refrigeration, Air Conditioning and Heating, 2012.
- Mohanraj, M., Jayaraj, S. e Muraleedharan, C., 2009, Environment friendly alternatives to halogenated refrigerants—a review, International Journal of Greenhouse Gas Control 3, pp. 108–119.
- Okido, T., Takigawa, K., Saito, M., 2012, Development of Refrigeration Oil for Use with R32, International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, 2221, pp. 1-7.
- Ota, R., Araki, K., 2010, Properties of refrigerant / oil mixtures for low GWP refrigerants, The International Symposium on New Refrigerants and Environmental Technology, pp. 51-55.
- Palm, B., 2008, Hydrocarbons as refrigerants in small heat pump and refrigeration systems—a review, International Journal of Refrigeration 31, pp. 552–563.
- Park, K. J., Jung, D., 2007, "Performance of alternative refrigerants for residential air-conditioning applications", Applied Energy, Vol. 84, pp. 985-991.
- Park, K.J. e Jung, D.S., 2007, Thermodynamic performance of HCFC22 alternative refrigerants for residential air-conditioning applications, Energy and Buildings 39, pp. 675–680.

Preparing for HCFC phase-out: Fundamentals of uses, alternatives, implications and funding for Article 5 countries. UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION, Vienna, 2009.

Yu, J., Xu, Z. e Tian, G., 2010, A thermodynamic analysis of a transcritical cycle with refrigerant mixture R32/R290 for a small heat pump water heater, *Energy and Buildings* 42, pp. 2431–2436.

EFFECT OF DROP-IN REFRIGERANT R22 FOR ALTERNATIVE FLUIDS IN THE GLOBAL WARMING FOR EXAMINING THE TEWI

Abstract. *The present article focuses on the climate performance of three different refrigerants used to replace the hydrochlorofluorocarbon (HCFC), R22, for common refrigeration applications. The original system consists of a small commercial refrigeration system, which provides nominal refrigerating capacity of 15 kW. The replacement of R22 by these alternative fluids (R290, R32 and R410A) represented a drop-in operation; there were no changes in the basic cycle components and run, with the exception of the lubricating oil. Experimental tests were carried out in steady state condition and throughout the tests the compressor had its entire speed range explored for different levels of modulation of the electronic expansion valve (EEV), thus enabling the realization of a complete thermodynamic analysis. The use of the hydrofluorocarbon (HFC), R32, which has a low global warming potential (GWP) and zero ozone-depleting potential (ODP) guaranteed good efficiency to the refrigeration system. The results showed regular conditions of efficiency of the experimental facility operating with the blend R410A. Finally, with the use of hydrocarbon (HC), the analyses of environmental damage (calculated by the total equivalent warming impact – TEWI) proved that the HC refrigeration system is less aggressive to environment than the other systems.*

Key words: *R22, R290, R32, R410A, TEWI*