

# ANÁLISE COMPARATIVA DOS REFRIGERANTES R407C, R410A E R290 COMO ALTERNATIVA AO R22 EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR

**Araí Augusta Bernárdez Pécora**

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Térmica e de Fluídos - Rua Mendeleiev, 200, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Barão Geraldo, Campinas, SP - [arai@fem.unicamp.br](mailto:arai@fem.unicamp.br)

**Fabiano Pacheco Cardoso**

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Térmica e de Fluídos - Rua Mendeleiev, 200, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Barão Geraldo, Campinas, SP - [fpcard@fem.unicamp.br](mailto:fpcard@fem.unicamp.br)

**Resumo.** Se a produção e até mesmo a utilização de refrigerantes CFCs em sistemas de refrigeração e ar condicionado no mundo já começa a fazer parte do passado, por exigência de acordos globais para controle destas substâncias, um consenso sobre a substituição dos HCFCs e a utilização de refrigerantes que sejam definitivamente “ecológicos” ainda não foi alcançado. Neste intuito, o objetivo deste trabalho é fazer uma avaliação teórica e comparativa dos refrigerantes alternativos R407C, R410A e R290 como possíveis substitutos do R22 em sistemas de refrigeração por compressão de vapor. Foram levantados dados relativos ao histórico destes refrigerantes, ao impacto ambiental de cada um deles, suas propriedades físicas e químicas, além de suas características termodinâmicas, buscando estabelecer um panorama geral destes refrigerantes que atualmente são as principais opções de “retrofit” em sistemas originalmente operados com R22.

**Palavras-chave:** compressão de vapor, análise comparativa, refrigerantes alternativos, R22

## 1. INTRODUÇÃO

Desde que se descobriu, nos anos 70, que o elemento cloro dos hidrocarbonetos halogenados liberados para a atmosfera podia destruir a camada de ozônio (Molina et al, 1974), o uso de tais substâncias como refrigerantes em sistemas de refrigeração e ar condicionado no mundo, principalmente o R12 e o R22, ao lado de suas possíveis alternativas, foram e continuam sendo amplamente estudadas. Quase trinta anos depois, o que se observa é que um consenso sobre a utilização de refrigerantes que sejam definitivamente “ecológicos”, além de econômica e energeticamente viáveis, ainda não foi alcançado. Se por um lado novos refrigerantes halogenados como os hidrofluorcarbonados (HFCs) não agride a camada de ozônio, sua contribuição para o efeito estufa é comprovadamente significativa, o que, a longo prazo, impossibilita sua utilização. Por outro lado, a despeito de sua inflamabilidade, uma crescente campanha tem estimulado a pesquisa e a utilização de refrigerantes hidrocarbonetos, remetendo a um passado, anterior a descoberta dos CFCs e HCFCs, de amplo emprego na indústria de refrigeração. Neste intuito, o que se busca aqui é uma análise específica das principais alternativas ao R22, comparando aspectos energéticos, ambientais e econômicos dos refrigerantes R290, R407C e R410A.

## 2. HISTÓRICO

Com o surgimento dos refrigerantes denominados “freon” (patente da I. E. DuPont de Nemours & Co.) em meados da década de 30, a indústria de refrigeração parecia ter descoberto o fluido de trabalho ideal para seus equipamentos. Produzidos a partir de hidrocarbonetos como metano e etano que tinham seus átomos de hidrogênio substituídos pelos halógenos cloro, flúor ou bromo, tais substâncias apresentavam características altamente desejáveis para aplicação em ar condicionado e refrigeração, como alta estabilidade física e química, baixíssima ou nenhuma inflamabilidade e toxicidade, boa solubilidade em óleos lubrificantes e, por fim, ótimas propriedades termodinâmicas. Iniciava-se, assim, uma era dominada pelos clorofluorcarbonados (CFCs), com destaque para o R11 e o R12, que, produzidos desde meados da década de 30 e popularizados na década de 50, foram por muitos anos os fluidos refrigerantes mais utilizados no mundo.

Em 1974, porém, Molina et al (1974) descobriram que o elemento cloro dos hidrocarbonetos halogenados liberados para o meio ambiente destruía a camada de ozônio terrestre, o que desencadeou um grande debate acerca do uso e da consequente eliminação de tais substâncias em sistemas de refrigeração e ar condicionado mundiais. Assim, como principal mecanismo legal de controle destas substâncias, foi estabelecido, em 1987, o Protocolo de Montreal (posteriormente revisado), que estipulou prazos e regulamentou a produção e a utilização destes refrigerantes a nível global (Tab. 1) (Powell, 2002). Em países considerados em desenvolvimento, como o Brasil - que regulamentou sua adesão ao Protocolo em 1990 - CFCs teriam que ser banidos, de forma gradativa, até 2010, enquanto os HCFCs, até 2040. Muitos países, entretanto, reduziram ainda mais os prazos já estabelecidos. Segundo resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, o prazo final para utilização de CFCs em novos sistemas e equipamentos, nacionais ou importados, no Brasil, foi estipulado para 2001, data que posteriormente foi prorrogada, para pequenas e médias empresas, até 2007.

Tabela 1. Principais medidas estabelecidas pelo Protocolo de Montreal

<b>Data limite</b>	<b>Medida de Controle</b>
Julho de 1989	Níveis básicos de produção
Janeiro de 1996	Extinção de CFCs em países desenvolvidos
Janeiro de 2004	Redução de 35% da produção de HCFCs em países desenvolvidos
Janeiro de 2005	Redução de 50% da produção de CFCs em países em desenvolvimento
Janeiro de 2007	Redução de 85% da produção de CFCs em países em desenvolvimento
Janeiro de 2010	Extinção de CFCs em países em desenvolvimento
	Redução de 65% da produção de HCFCs em países desenvolvidos
Janeiro de 2020	Extinção de HCFCs em países desenvolvidos
Janeiro de 2040	Extinção de HCFCs em países em desenvolvimento

Neste sentido, a partir da descoberta de Molina e da deliberação mundial acerca do uso destas substâncias, emergiu, como alternativa natural - e provisória - aos CFCs, os fluidos hidroclorofluorcarbonados, ou HCFCs. Com total destaque para o R22, tais substâncias passaram então a ser largamente aplicadas em refrigeração e ar condicionado em todo o mundo, principalmente a partir do final dos anos 80, não só em função de suas boas propriedades físicas e termodinâmicas, mas principalmente em função do menor número de átomos de cloro em sua composição, ou seja, do seu menor impacto ambiental.

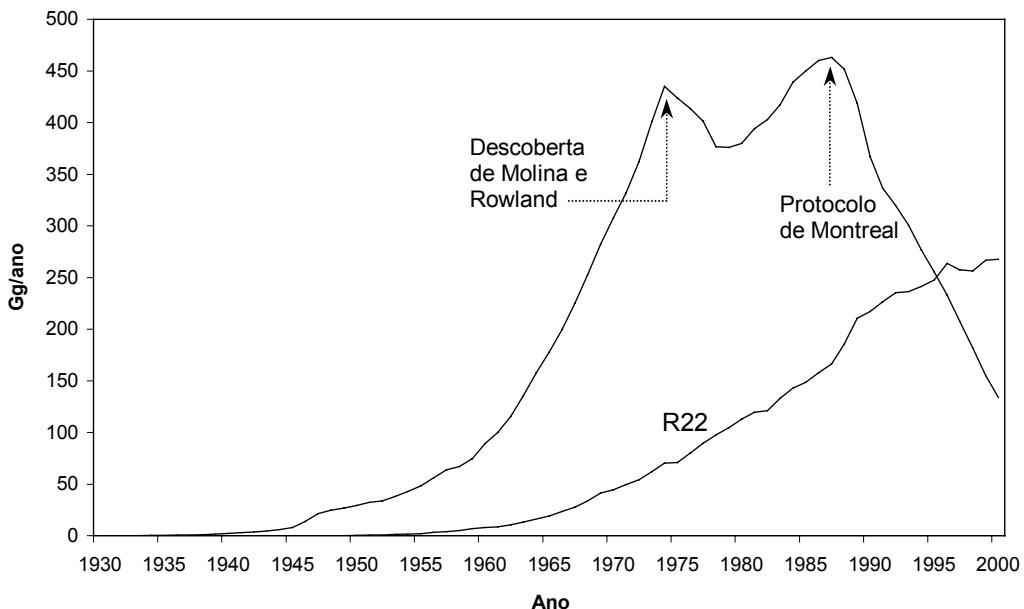


Figura 1. Emissão mundial estimada de R12 e R22.

Para traçar um panorama da utilização de CFCs e HCFCs no mundo ao longo dos anos, desde a década de 30, McCulloch et al (2003) estimaram a quantidade global de R12 e R22 emitida para a atmosfera em Gigagramas ( $\text{kg} \times 10^6$ ) por ano, conforme mostrado na Fig. (1). Um importante aspecto a ser considerado é que, se por um lado apenas 30% da aplicação de R12 era relativo à refrigeração, em se tratando de R22, cerca de 92% do seu uso refere-se a este tipo de aplicação (McCulloch et al, 2003). Assim, se atualmente a produção e até mesmo a utilização do R12, conforme previsto pelos acordos mundiais, já começa a fazer parte do passado, um consenso sobre a substituição do R22 e a utilização de refrigerantes que sejam definitivamente “ecológicos” parece ser o próximo passo do mercado de refrigeração.

### 3. REFRIGERANTES NATURAIS X REFRIGERANTES SINTÉTICOS

Pesquisas nas últimas décadas também fizeram surgir uma outra opção de refrigerante halocarbônico, conhecido como hidrofluorcarbonado (HFC), que, sem a presença de átomos de cloro em sua composição, tem impacto zero na destruição da camada de ozônio. Assim, no intuito de garantir o menor número possível de alterações nos equipamentos de refrigeração e ar condicionado, que por muitas décadas foram projetados e otimizados em função das propriedades dos CFCs e HCFCs, e utilizar substâncias ambientalmente viáveis, fluidos como o R134a, R407C e R410A passaram então a ser utilizados como alternativa aos refrigerantes R12 e R22, principalmente o R134a, que, como alternativa ao R12, vem sendo muito empregado em equipamentos de ar condicionado em todo o mundo. Infelizmente, uma grave questão acerca do uso dos HFCs o inviabiliza a longo prazo. Embora estas substâncias de fato não contribuam para a destruição da camada de ozônio, estudos revelaram que elas possuem um significativo potencial de aquecimento global (avaliado pelo índice GWP), contribuindo de forma considerável para o aumento do efeito estufa no planeta. Deste modo, substâncias HFCs já vêm sendo incluídas inclusive em acordos mundiais de controle ambiental, como o Tratado de Kyoto<sup>1</sup>, tornando-se candidatas à extinção em um futuro próximo (Domanski, 1999).

Na Tabela (2) é apresentado um comparativo dos potenciais de destruição de ozônio (ODP) e de aquecimento global (GWP) dos principais refrigerantes existentes no mercado. Como podemos observar, os hidrocarbonetos não possuem um potencial de aquecimento global significante, nem

<sup>1</sup> Conferência sobre aquecimento global, realizada em Kyoto, no ano de 1997, que estipulou redução de 5% na emissão total de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , PFC,  $\text{SF}_6$  e HFC em relação ao nível de emissão destas substâncias em 1990.

tão pouco contribuem para a destruição da camada de ozônio, sendo, do ponto de vista ambiental, altamente desejáveis - diferentemente do R134a, R407C e R410A, tão exaltados pela indústria de refrigeração como alternativas “ecológicas”, mas com significativo GWP. Conhecidos como refrigerantes naturais e alvo de campanhas mundiais que defendem sua retomada como principal fluido de trabalho no mercado de refrigeração - remetendo aos anos em que, antes da descoberta dos CFCs e do HCFCs, eles eram amplamente utilizados - pesquisas a nível global vêm estudando a viabilidade energética dos hidrocarbonetos como refrigerante nos equipamentos atuais de refrigeração e ar condicionado.

Tabela 2. Aspectos ambientais de refrigerantes alternativos aos CFCs a HCFCs.

Refrigerante	Ponto de Ebulação (°C)	Potencial de destruição de ozônio (ODP)*	Potencial de aquecimento global (GWP)
<i>Possíveis alternativas ao R12</i>			
R12	-29,8	1	8100
R134a	-26,1	0	1300
<i>Possíveis alternativas ao R22</i>			
R22	-40,8	0,055	1700
R407C	-44,0	0	1600
R410A	-52,7	0	1900
<i>Hidrocarbonetos</i>			
R290	-42,1	0	3
R600	-0,5	0	0
R600a	-11,7	0	0

\* Relativo ao CFC11 / \*\* Relativo ao CO<sub>2</sub>

Na Europa, vale ressaltar, uma produção significativa de equipamentos operados com hidrocarbonetos já existe. Na Alemanha, cuja extinção do R22 foi estipulada para janeiro de 2000 (Meyer, 2000), cerca de 90% do total de refrigeradores domésticos fabricados utilizam o isobutano (R600a) como refrigerante (Danfoss Compressors, 2000). Na Suécia, cerca de 30 mil unidades de bombas de calor foram produzidas durante a última década utilizando o propano (R290) como refrigerante (Granryd, 2001). Sua grande desvantagem, entretanto, está no fato de se tratar de substâncias inflamáveis. Sistemas cada vez menos propensos a vazamento e medidas básicas de segurança - como a utilização de controles elétricos que possam reduzir o risco de centelhamento no compressor e procedimentos corretos de recarga e manutenção -, porém, podem reduzir o risco de acidentes de forma significativa, tornando viável, do ponto de vista da segurança, o seu uso como refrigerante.

#### 4. PESQUISAS REALIZADAS

Conforme discutido anteriormente, os HFCs vêm sendo objeto de pesquisas ao redor do mundo como alternativa aos HCFCs (leia-se R22) para operações de “retrofit”, se concentrando basicamente no R407C e o R410A.

Em recente pesquisa, Aprea et al (2003) compararam o desempenho dos fluidos R22 e R407C, em uma bancada experimental de um ciclo de compressão de vapor, com compressor do tipo alternativo semi-hermético para R22. Os resultados, porém, mostraram que a performance energética do R22 foi melhor do que a performance obtida pelo sistema operando com o R407C, o que ocorreu, segundo os autores, pela melhor eficiência volumétrica e isentrópica do R22 no compressor semi-hermético utilizado. Apesar dos resultados não-satisfatórios, Aprea e Greco

ressaltam que a melhora no desempenho do sistema é perfeitamente possível se forem feitas no compressor alterações específicas para a utilização do HFC.

Em um outro trabalho, Kim (2002) apresentou os resultados obtidos para R22 e outros quatro fluidos refrigerantes, dentre eles o R407C e o R410A. Testados em um sistema para R22 operando em condições típicas de um equipamento de ar condicionado residencial, o fluido R407C teve performance muito similar ao R22, enquanto o R410A teve o melhor desempenho (COP e capacidade de refrigeração) de todos os fluidos analisados.

Também muito testados como alternativa ao R22 principalmente por países exportadores de petróleo, os hidrocarbonetos apresentaram desempenho bastante satisfatório em várias análises comparativas com o R407C e o R410A, além do R22.

Em um trabalho muito citado por pesquisadores da área, Purkayastha et al (1998) analisaram a performance dos fluidos R290 e GLP (com 98,95% de propano) comercialmente vendido na Nova Zelândia como alternativa ao R22 em uma bomba de calor<sup>2</sup> de até 15000 Watts de capacidade de condensação. Dispondo de um compressor semi-hermético do tipo scroll para R22 e uma válvula termostática adequada tanto para o R22 quanto para os hidrocarbonetos, testes revelaram que o sistema operando com os refrigerantes naturais apresenta melhor COP do com o R22, embora com pequena perda na capacidade de condensação. Outros parâmetros como vazão mássica de refrigerante e temperatura de descarga do compressor também apresentaram valores significativamente melhores com o R290 e o GLP, comprovando a viabilidade energética de ambos. Confrontando a performance dos dois fluidos alternativos, o R290 apresentou melhores resultados quando operado em temperaturas de condensação mais baixas, em torno de 35°C.

Também em uma bomba de calor, Chang et al (2000) testaram experimentalmente os fluidos propano, butano, isobutano e propileno na forma pura e em misturas binárias. Com um compressor para R22 do tipo alternativo aberto e dispondo de um variador de velocidade acoplado ao motor, foram levantadas, para uma série de condições impostas, curvas de potência de refrigeração e COP, que, inicialmente, já puderam mostrar a inviabilidade energética do isobutano (R600a) e do butano (R600) – o que ocorre pelo fato do compressor estar dimensionado segundo características termodinâmicas do R22, como pressão de sucção e descarga e capacidade volumétrica, significativamente diferentes para o R600a e o R600. De acordo com os resultados obtidos, a capacidade de refrigeração do sistema operando com propano (R290) apresentou-se ligeiramente inferior ao mesmo sistema com R22, com um ligeiro incremento, porém, no COP.

Em um outro trabalho, Meyer (2000) também testou a performance experimental do R22, do propano (R290) e dos refrigerantes alternativos R134a, R404A, R407C, R410A operados em um sistema com compressor hermético para R22 do tipo alternativo e válvula de expansão termostática de controle manual. Segundo o autor, ótimos resultados foram obtidos para o R290, que apresentou, em relação ao R22, menor potência requerida de compressão, menor vazão mássica de refrigerante e menor temperatura de descarga do compressor, com valores similares de COP.

## 5. ANÁLISE TERMODINÂMICA COMPARATIVA

Com o objetivo de avaliar a viabilidade dos fluidos citados aqui como alternativas ao R22 em ciclos de refrigeração por compressão de vapor através de mecanismo de “retrofit” ou “drop-in” – que consiste na simples substituição do refrigerante original por um fluido qualquer sem necessidade de grandes alterações no sistema - são apresentadas a seguir algumas propriedades e curvas características das principais opções estudadas e utilizadas em todo o mundo.

Na Figura (2) estão indicadas as curvas de pressão de saturação para temperaturas entre -40°C e 70°C dos refrigerantes R22, seus principais substitutos halocarbônicos R407C e R410A, dos hidrocarbonetos R290 e R600a, além do R12 e R134a. Como podemos notar, o R22, R407C e R290 possuem pressões similares, principalmente em temperaturas correspondentes à temperatura de evaporação (Fig. 2A). Observa-se ainda vantagem na utilização do R290, que, com pressões

<sup>2</sup> Máquina térmica que pode ter finalidade tanto de aquecimento quanto de refrigeração.

ligeiramente inferiores ao R22, apresenta níveis de solicitação mecânica mais baixos, representando, a princípio, menor desgaste consumo de energia elétrica.

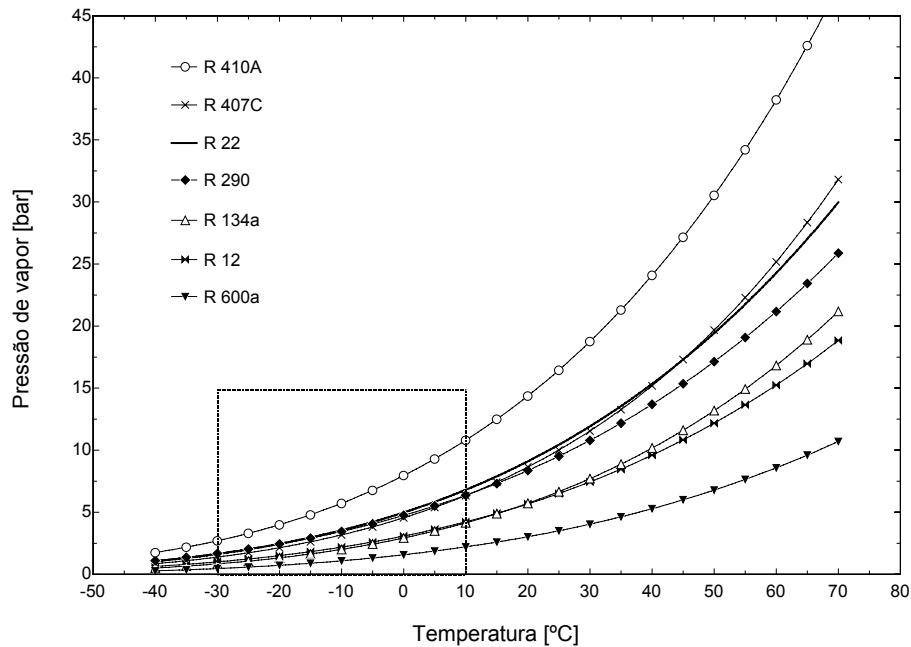


Figura 2. Pressão de saturação para alguns dos principais refrigerantes do mercado.

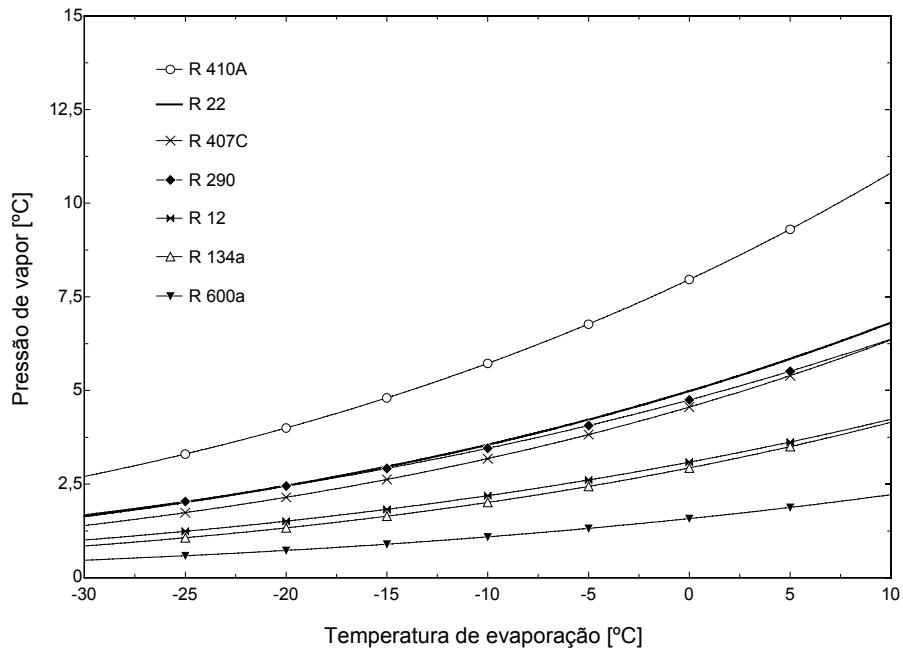


Figura 2A. Pressão de saturação para temperaturas de evaporação ( $-30^{\circ}\text{C}$  a  $10^{\circ}\text{C}$ ).

Para uma análise comparativa, adotou-se como parâmetros uma carga térmica de 1500 W e temperaturas de evaporação e condensação de  $0^{\circ}\text{C}$  e  $40^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Assim, nestas condições, foi traçado um comparativo entre o R22, suas alternativas halocarbônicas e o R290. Os refrigerantes R134a e R600a são analisados apenas para efeito comparativo.

Como requisito básico na seleção de refrigerantes para mecanismos de “retrofit” ou “drop-in”, a capacidade dos dois fluidos têm que ser, ao menos, similar. Visto que compressores herméticos de pequeno porte têm, de maneira geral, deslocamento volumétrico constante, o parâmetro a ser

observado é a capacidade de refrigeração volumétrica das possíveis alternativas levantadas. A Fig. (3) mostra este parâmetro (correspondente à razão entre efeito frigorífico e volume específico na sucção, em  $\text{kJ/m}^3$ ) para os cinco fluidos analisados, revelando valores bastante similares para o R290 e o R407C, ambos os mais próximos à curva do R22.

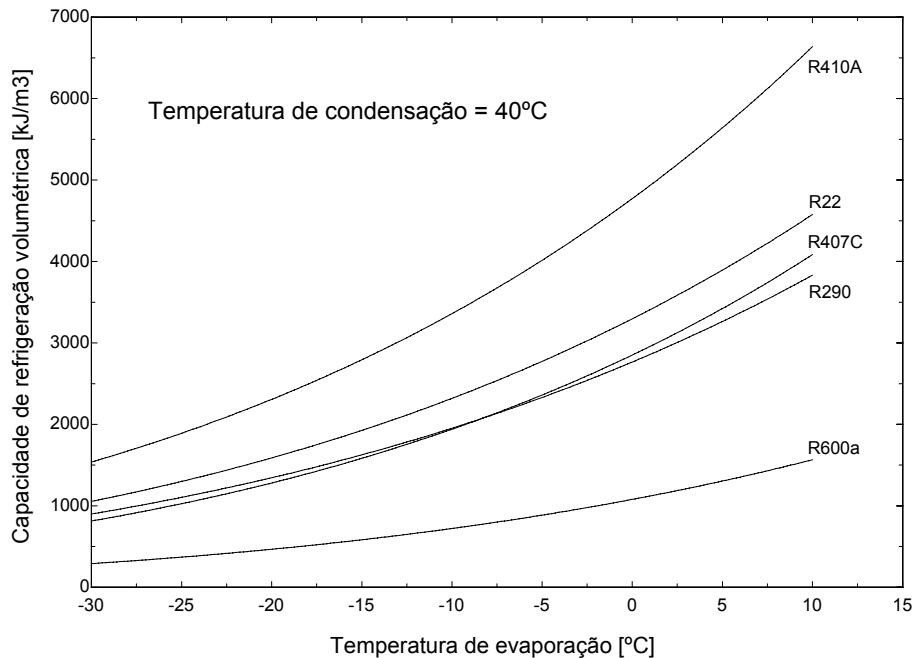


Figura 3. Capacidade de refrigeração volumétrica.

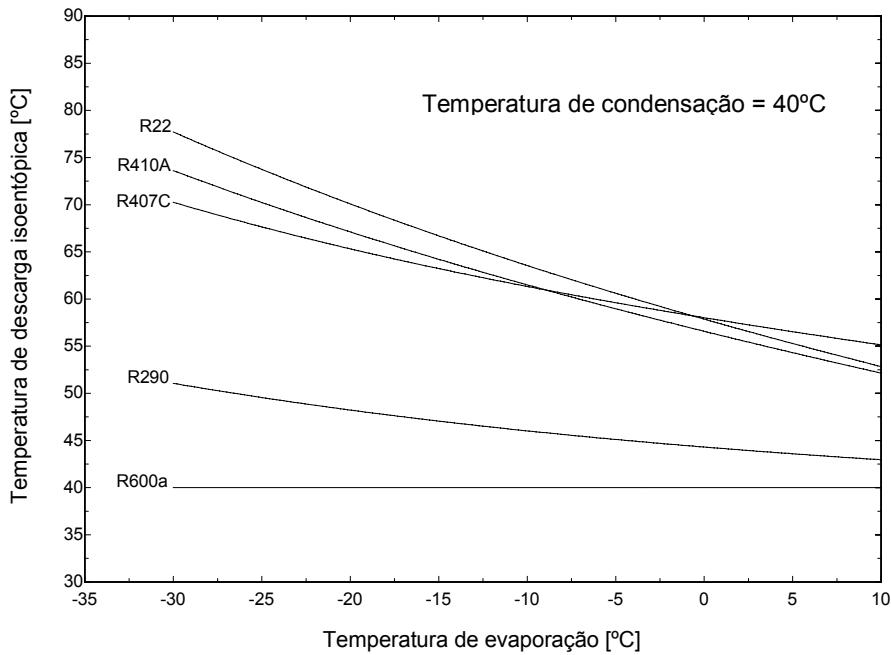


Figura 4. Temperatura de descarga isentrópica do compressor.

Outro importante parâmetro de seleção de refrigerantes alternativos refere-se à temperatura de descarga isentrópica, que, para as condições já mencionadas de temperatura de condensação de 40°C e sem grau de superaquecimento, mostraram-se, com os refrigerantes naturais, altamente vantajosas, como mostrado na Fig. (4).

A Tabela (3) apresenta um resumo de algumas propriedades e parâmetros termodinâmicos teóricos referentes ao R22, R407C, R410A e R290 para as condições pontuais anteriormente mencionadas. Como podemos observar, o R290 apresenta menores valores de diferença de pressão, o que acarreta em menores esforços sobre os mancais do compressor. É importante notar também que, se por um lado o volume específico do R290 na sucção do compressor é praticamente duas vezes o valor encontrado para o R22 (o que representa menos massa sendo deslocada pelo compressor), o efeito frigorífico, por sua vez, em razão da sua alta entalpia de evaporação, também é maior para o R290, o que garante os valores similares de capacidade de refrigeração volumétrica (Fig. 3). Além disso, como era de se esperar, os refrigerantes naturais, para a mesma capacidade de refrigeração de 1500 W, apresentaram menores vazões mássicas de refrigerante, o que, na prática, representa menor quantidade de refrigerante no sistema.

Tabela 3. Comparativo teórico entre o R22 e suas possíveis alternativas

	<b>R22</b>	<b>R407C</b>	<b>R410A</b>	<b>R290</b>
Pressão de evaporação [bar] (a 0°C)	4,98	4,56 (-9%)	7,96 (+60%)	4,75 (-5%)
Pressão de condensação [bar] (a 40°C)	15,34	15,19 (-1%)	24,1 (+57%)	13,69 (-11%)
Diferença de pressão [bar] (Pcond – Pevap)	10,36	10,63 (+3%)	16,14 (+56%)	8,95 (-14%)
Temperatura de descarga isentrópica [°C]	57,9	58 (0%)	56,6 (-2%)	44,3 (-23%)
Volume específico na sucção [m <sup>3</sup> /kg] (a 0°C)	0,0471	0,0526 (+12%)	0,0326 (-31%)	0,0965 (+105%)
Efeito frigorífico [kJ/kg] (Dif. de entalpia de evaporação)	155,2	150,1 (-3%)	155,7 (0%)	266,9 (+72%)
Capacidade de refrigeração volumétrica [kJ/m <sup>3</sup> ]	3296	2851 (-14%)	4771 (+45%)	2765 (-16%)
Vazão mássica [kg/h] (p/ uma carga térmica 1500W)	34,8	35,98 (+3%)	34,68 (0%)	20,24 (-42%)

## 6. CONCLUSÃO

Várias pesquisas ao redor do mundo atualmente vêm sendo direcionadas a solucionar a questão do uso do R22 em equipamentos de refrigeração e ar condicionado. Este trabalho, portanto, teve como intuito fazer um levantamento sobre aspectos gerais que envolvem o tema e, principalmente, expor as vantagens e desvantagens dos refrigerantes R407C, R410A e R290 como opção ao R22 em um sistema de refrigeração por compressão de vapor. Ao analisarmos aspectos ambientais e energéticos, além dos estudos experimentais já realizados, podemos concluir que o R290 apresenta-se como a opção mais viável ao R22 em operações de “retrofit”, ressalvando-se apenas aplicações que, por sua característica inflamável, proporcionam maiores riscos de acidentes e explosões.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ, pelo apoio financeiro que possibilitou a execução deste trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aprea, C. e Greco, A. “Performance evaluation of R22 and R407C in a vapour compression plant with reciprocating compressor”, Applied Thermal Engineering, 2003, vol. 23, pp. 215-227.

Chang, Y. S., Kim, M. S. e Ro, S. T. "Performance and heat transfer characteristics of hydrocarbon refrigerants in a heat pump system", International Journal of Refrigeration, 2000, vol. 23, pp. 232-242.

Colbourne, D. e Ritter, T. J. "Quantitative risk assessment: hydrocarbon refrigerants", Proceedings of the IIF/IIR Conference, Oslo, Noruega, 1998.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, Resoluções nº 13/1995 e 267/2000, Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2001.

Danfoss Compressors. "Practical application of refrigerant R290 propane in small hermetic systems", Flensburg, Alemanha, 2000. Informativo técnico.

Danfoss Compressors. "Practical application of refrigerant R600a in domestic refrigerator systems", Flensburg, Alemanha, 2000. Informativo técnico.

Domanski, P. A. "Evolution of refrigerant application", Proceedings of the International Congress on Refrigeration, 1999, Milão, Itália.

Domanski, P.A. e Didion, D.A. "Thermodynamic evaluation of R22 alternative refrigerants and refrigerant mixtures", ASHRAE Transactions, 1993, pp. 636-647.

Embraco Ltda. "Refrigerantes hidrocarbonos como substitutos ao R12", Joinville, 1995. Informativo técnico.

Granryd, E. "Hydrocarbons as refrigerants – an overview", International Journal of Refrigeration, 2001, vol. 24, pp.15-24.

Kim, Man-Hoe. "Performance evaluation of R22 alternative mixtures in a breadboard heat pump with pure cross-flow condenser and counter-flow evaporator". Energy, 2002, vol. 27, pp. 167-181.

Lee, Y.S. e Se, C.C. "Experimental studies of isobutane (R600a) as the refrigerant in domestic refrigeration system", Applied Thermal Engineering, 2002, vol.22, pp. 507-519.

Meyer, J. P. "Experimental Evaluation of five refrigerants as replacements for R22", ASHRAE Transactions, 2000, pp.583-588.

McCulloch, A., Midgley, P. e Ashford, P. "Releases of refrigerant gases (CFC12, HCFC22 e HFC134a) to the atmosphere", Atmospheric Environment, 2003, vol. 37, pp. 889-902.

McMullan, J. T. "Refrigeration and the environment – issues and strategies for the future", International Journal of Refrigeration, 2000, vol. 25, pp. 89-99.

Molina, M. J. e Rowland, F. S. "Stratospheric sink for Chlorofluoromethanes; Chlorine atom-catalyzed destruction of ozone", Nature, 1974, vol. 249, pp.810-812.

Powell, R. L. "CFC phase-out: have we met the challenge?", Journal of Fluorine Chemistry, 2002, vol. 114, pp. 237-250.

Purkayastha, B. e Bansal, P. K. "An experimental study on HC290 and a commercial liquefied petroleum gas (LPG) mix as suitable replacements for HCFC22", International Journal of Refrigeration, 1998, vol. 21, pp.3-17.

## **COMPARATIVE EVALUATION OF THE REFRIGERANTS R407C, R410A E R290 AS POSSIBLE SUBSTITUTES OF THE R22 IN VAPOUR COMPRESSION SYSTEMS**

**Araí Augusta Bernárdez Pécora**

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Térmica e de Fluídos - Rua Mendeleiev, 200, Cidade Universitária "Zeferino Vaz", Barão Geraldo, Campinas, SP - [arai@fem.unicamp.br](mailto:arai@fem.unicamp.br)

**Fabiano Pacheco Cardoso**

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Térmica e de Fluídos - Rua Mendeleiev, 200, Cidade Universitária "Zeferino Vaz", Barão Geraldo, Campinas, SP - [fpcard@fem.unicamp.br](mailto:fpcard@fem.unicamp.br)

**Abstract.** If the production and even the utilization of CFCs refrigerants in refrigeration and air conditioning systems in the world already starts to be part of the past, because of the requirement of global agreements for controlling these substances, a consensus on the substitution of HCFCs and the utilization of “ecological” refrigerants wasn’t achieved yet. In this intention, the purpose of this paper is to make a theoretical and comparative evaluation of the alternative refrigerants R407C, R410A e R290 as possible substitutes of the R22 in vapor compression systems. Were raised datas related to the evolution of these refrigerants, its environmental impact, its physical and chemical properties, beyond its thermodynamic characteristics, making an overview of these refrigerants that are currently the main options for “retrofit” in systems originally operated with R22.

**Keywords.** Vapor compression, comparative evaluation, alternatives refrigerants, R22