

HIDROCARBONETOS COMO FLUIDOS REFRIGERANTES: ESTADO DA ARTE.

Plínio Santos Teixeira

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Refrigeração e Ar Condicionado, Asa Norte, Brasília, DF, CEP 70910-900, plinioteixeira@ig.com.br

João Manoel Dias Pimenta

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Refrigeração e Ar Condicionado, Asa Norte, Brasília, DF, CEP 70910-900, pimenta@unb.br

RESUMO. *O uso de fluidos refrigerantes naturais tem atraído renovado interesse durante a última década em virtude de seu potencial como substitutos efetivos dos CFC's, propiciando vantagens ambientais como um valor nulo para o ODP (Ozone Depletion Potential) e valores desprezíveis para o GWP (Global Warming Potential). Entre as alternativas de refrigerantes naturais, hidrocarbonetos, como as misturas de gases propano e butano (gás liquefeito de petróleo - GLP) tem sido consideradas, em virtude de suas propriedades termodinâmicas e de transporte favoráveis, melhorando o desempenho do ciclo de refrigeração. Tais aspectos têm estimulado o uso de hidrocarbonetos em refrigeradores domésticos, climatização automotiva, sistemas comerciais e industriais. Como resultado, as principais economias mundiais, dispõem atualmente de normas para uso de hidrocarbonetos em sistemas de refrigeração, bem como comercializam equipamentos domésticos de refrigeração. No Brasil por outro lado, pouco ou nada tem sido feito em relação à investigação de fluidos refrigerantes alternativos como os hidrocarbonetos. Desta forma, é essencial analisar um dos maiores desafios impostos pelo protocolo de Montreal: proteção da camada de ozônio, sem prejuízo para a economia de países em desenvolvimento durante sua transição para novas tecnologias. Dentro desse contexto, o presente trabalho apresenta as informações mais recentes e importantes relacionadas a utilização dos refrigerantes hidrocarbonetos em sistemas de refrigeração, como alternativa aos fluidos sintéticos usuais, com ênfase para as seguintes questões: i) histórico de aplicações de fluidos refrigerantes com respeito a questão ambiental, ii) estado da arte em matéria de sistemas de refrigeração empregando hidrocarbonetos, iii) comparação teórica entre fluidos refrigerantes hidrocarbonetos e outros fluidos alternativos, iv) aspectos de segurança no uso do GLP como refrigerante.*

Palavras-chave: GLP, refrigerantes, hidrocarbonetos, estado da arte.

1. INTRODUÇÃO

Desde 1930 com o trabalho de Thomas Midgley Jr, os clorofluorcarbonos (CFC) foram amplamente utilizados no campo da refrigeração devido as suas características favoráveis. Foram utilizados particularmente em pequenas unidades de refrigeração, sendo o refrigerante R12 o dominante em sua categoria. Este foi um dos primeiros refrigerantes a ser desenvolvido na qual a empresa Dupont obteve expressiva ascensão, dominando o mercado mundial como produtora de

fluidos refrigerantes sintéticos. Este primeiro refrigerante mostrou-se seguro (do ponto de vista operacional), com preço de certa forma reduzido, não inflamável, e muito estável. Mais tarde, os CFCs foram considerados como principais causadores da degradação da camada de ozônio, além de responsáveis pelo aumento do efeito estufa provocando o aquecimento global.

Hidroclorofluorcarbonos da forma do R22 causam menos danos a camada de ozônio. Contudo, estes ainda contêm cloro em sua molécula que ao ser liberada na estratosfera interfere nas ligações químicas do ozônio. Hidrofluorcarbonos proposto pelo plano de eliminação de CFC's em 1988 pela Dupont, como o R134a, possuem potencial de degradação do ozônio praticamente nulos (mas um potencial de aquecimento global elevado), pois não contem átomos de cloro em sua estrutura. De forma similar ao R12, são seguros, não inflamáveis e possuem pressão de vapor próximas entre si. Por outro lado, possuem eficiência energética menor e são mais caros que o R12. No caso do R11 foi proposta a substituição pelo R123.

Recentemente, muita atenção tem sido dada aos chamados fluidos naturais, os quais são menos agressivos ao meio ambiente que os fluidos sintéticos. Os hidrocarbonetos pertencem a este grupo de substâncias detentoras de propriedades interessantes como refrigerantes, tendo como único inconveniente o poder de se inflamar com facilidade. Se a inflamabilidade for permitida, então se pode adotar os hidrocarbonetos como refrigerante. Em algumas partes do mundo, principalmente na Europa, existem sistemas operando com hidrocarbonetos como fluido refrigerante.

1.1 Questão ambiental: destruição da camada de ozônio

Geralmente os hidrocarbonetos são considerados benignos ao meio ambiente. Estes possuem potencial de aquecimento global de ordem quase a ser desprezada e potencial de degradação do ozônio inexistente. Não obstante, os países em desenvolvimento encaram outro problema peculiar (UNEP – 1999). O que estas nações devem fazer com os milhões de refrigeradores domésticos e comerciais e congeladores existentes que utilizam refrigerantes do tipo CFC que degradam a camada de ozônio?

Portanto, este estudo também se relaciona a adaptação de equipamentos existentes com hidrocarbonetos. A possibilidade de se usar hidrocarbonetos na adaptação de sistemas existentes baseados em CFCs como refrigeradores domésticos e comerciais tem sido considerado e aplicado por alguns anos como uma possível opção para ajudar países em desenvolvimento a cumprir suas obrigações sob o protocolo de Montreal. Apesar de não utilizar estes fluidos como substitutos, o Brasil poderia se beneficiar e atender igualmente as obrigações do protocolo. Na verdade, até agora, essas questões não foram substancialmente investigadas e documentadas no contexto do Fundo Multilateral para a Implementação do Protocolo de Montreal.

1.2 Eliminação dos CFCs e a legislação ambiental brasileira

Durante o 37º encontro do comitê executivo do fundo multilateral para a implementação do protocolo de Montreal em Julho 2002, um total de US\$ 26.7 milhões em investimentos foram em princípio aprovados para a implementação de um substancial plano nacional brasileiro de eliminação do CFC.

O plano nacional de eliminação de CFC, ou “National CFC Phase-out Plan” como é conhecido internacionalmente nos comitês executivos das Nações Unidas, incluem todos os clorofluorcarbonos, CFC-11, CFC-12, CFC-113, CFC-114 e CFC-115. Conforme o plano apresentado para o secretariado do fundo multilateral (Meeting of the Executive Committee of the Multilateral Fund for the Implementation of the Montreal Protocol, 2002), o consumo destes CFCs deverá ser eliminado até 01 de Janeiro de 2007, por volta de três anos a frente do cronograma estipulado pelo protocolo de Montreal. Contudo, pela revisão junto ao fundo multilateral, o governo Brasileiro concordou que a data para a eliminação deveria ser estipulada para 01 de Janeiro de 2010.

Enquanto a data do plano de eliminação é a mesma requerida pelo protocolo de Montreal, o plano revisado também se destina a reduzir o consumo de CFCs permitindo ao Brasil estar de acordo com as obrigações impostas pelo protocolo limitando anualmente o consumo máximo de CFCs de 10.521 ODP toneladas/ano em 2001 – 2004, 5.261 ODP toneladas/ano em 2005 – 2006, e 1.578 ODP toneladas/ano em 2007 – 2009. As reduções anuais de consumo requerido para alcançar às solicitadas e os créditos de fundos aprovados são ilustrados na Tab (1). Ao completar os projetos em andamento, eliminar-se-á um total de 3.475 toneladas de ODP do consumo anual de CFC, permanecendo 5.801 toneladas de ODP para ser eliminado pelo plano.

Tabela 1. Reduções no uso de CFCs (Meeting of the Executive Committee, 2002)

Reduções Anuais para o Consumo de CFCs (ODP em toneladas)								
	2002	2003 / 2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Reduções de Projetos em andamento (ODP)	745	313 / 1210	1207	0	0	0	0	0
Novas Reduções em Planejamento (ODP)	251	1000 / 737	743	1020	1050	576	350	74
Reduções Totais Anuais (ODP)	996	1313 / 1947	1950	1020	1050	576	350	74
Totalidade Fundos aprovados pelo comitê (US\$ milhões)	9,5	6,42	5,27	3,10	1,19	0,87	0,25	0,10

O plano nacional Brasileiro de eliminação dos CFCs elaborado pelo governo seria mais atencioso aos requerimentos do protocolo de Montreal, caso hidrocarbonetos fossem introduzidos como um substituto em sistemas de refrigeração domésticos e comerciais.

2. ESTADO DA ARTE

Diversos fluidos foram propostos como possível substituto em sistemas de refrigeração sempre focado nas propriedades termodinâmicas para uma boa eficiência energética, devendo possuir desempenho similar aos fluidos convencionais, segurança de operação e não agressividades ao meio ambiente.

Pensando nestes propósitos, refrigerantes naturais foram investigados. Incluem-se neste grupo o dióxido de carbono (R744), os hidrocarbonetos obtidos da destilação fracionada como o propano (R290), o isobutano (R600a), o etano (R170), além de outros fluidos como a amônia (R717). Entre os hidrocarbonetos existem certas misturas provenientes da extração petrolífera de preço reduzido, disponibilização abundante e de fácil acesso em muitos países, que é o gás liquefeito de petróleo (GLP).

Pode-se propor um estudo aprofundado dos principais hidrocarbonetos que constituem os GLPs. Em princípio, para a substituição em sistemas convencionais de compressão a vapor onde previamente foram utilizados os R12 ou R22, deve-se de acordo com Granryd (2001), procurar fluidos de características semelhantes como mesmas pressões de vapor em relação ao fluido com que desejamos trocar.

Conforme documentos das Nações Unidas, (UNEP, 1999) os dados das propriedades termofísicas necessárias ao uso do propano e isobutano como refrigerantes foram bem estabelecidos ao longo dos anos, e devido ao crescimento do uso destas substâncias como misturas de refrigerantes, as propriedades correspondentes a estas combinações foram igualmente bem documentadas. Programas computacionais como os EES (Engineering Equation Solver) estão disponíveis para prover uma completa e confiável quantidade de dados tanto para hidrocarbonetos puros ou para suas misturas.

Apesar dos perigos referentes à combustão, os limites superior e inferior de capacidades de inflamabilidade por volume de ar e sua temperatura correspondente de auto ignição são bem conhecidas para o propano e isobutano e misturas usuais. Além disso muito se sabe sobre o grau de toxicidade destes gases e os limites de exposição aos refrigerantes.

Uma questão a ser tratada é a presença de contaminantes capazes de causar problemas, e dependendo dos níveis encontrados, podem provocar danos ao compressor e também afetar a

capacidade e eficiência do sistema de refrigeração. Os requisitos relacionados para o bom funcionamento com propano e isobutano, os limites e tipos de contaminantes são em geral claramente especificados pelos fabricantes. Contudo existem poucas informações disponíveis sobre os efeitos em sistemas de refrigeração de desvios dos níveis especificados de pureza.

Em qualquer sistema de refrigeração uma parte do óleo lubrificante circula junto com o refrigerante pelos vários componentes do sistema. Os efeitos do óleo estão fortemente relacionados com a habilidade do refrigerante de se dissolver no lubrificante. Níveis elevados da solubilidade do refrigerante leva a reduções de viscosidade da solução refrigerante/ lubrificante, o que é benéfico para o retorno do óleo ao compressor mas pode agir em detrimento da lubrificação dos mancais. Em relação aos hidrocarbonetos, os dados experimentais disponíveis (Granryd, 2001) apresentam-se de certa forma conflitante em termos de efeitos de solubilidade do propano e isobutano na presença de óleo mineral quando comparados com o R12. É reportada uma maior solubilidade para os hidrocarbonetos em relação ao R12, causando uma redução da viscosidade na mistura refrigerante óleo/refrigerante, e portanto uma viscosidade mais elevada é recomendada para o sistema compensar. Tal efeito contudo tem-se verificado evidências contraditórias indicando a existência de níveis mais elevados de viscosidade com hidrocarbonetos e óleos minerais, levando se a recomendar o uso de um óleo de menor viscosidade. Em outras investigações (CONCAWE, 1992) de substituição de refrigerantes por misturas de hidrocarbonetos o óleo mineral original foi usado com sucesso, indicando que a viscosidade da solução não foi modificada significativamente e permitiu uma operação satisfatória.

Existem quantidades significativas de estudos no desempenho de misturas de hidrocarbonetos, especialmente nas aplicações contendo propano/isobutano em refrigeradores domésticos projetados para utilizar CFC's do tipo R12. Pode-se citar os trabalhos de Purkayastha & Bansal (1997), Lee & Su (2001) e também Tashtoush et al (2002), com ênfase no campo experimental. Estudos comparativos de fluidos refrigerantes a base de hidrocarbonetos e fluidos convencionais realizados por Maclaine-cross & Leonardi (1996) também apresentam resultados favoráveis à utilização destes fluidos.

De forma análoga, nos estudos da UNEP (1999), várias pesquisas conduziram medições das mudanças no consumo de energia em um refrigerador não modificado adotando misturas de R-290/R-600a como alternativa para o R12. Tem-se relatado resultados em que se alcança uma diminuição superior a 20% em consumo energético. Em alguns casos, Bodio et al. (1993), houve uma melhoria substancial no desempenho após variar o comprimento do tubo capilar, a quantidade de carga e mistura do composto. Além disso, para o caso de conversões de sistemas comerciais de refrigeração de pequeno porte, é mais simples que refrigeradores domésticos por se tratar de aparelhos que trabalham em uma estreita faixa de temperatura. Empresas nesta área reportam uma economia de 15% a 20% após a conversão de sistemas empregando o R134a por misturas de hidrocarbonetos, James e Missenden (1992).

2.1 A destruição da camada de ozônio

Em 1974, Rowland, Molina e Crutzen publicaram suas pesquisas sobre a ameaça à camada de ozônio provocada por gases do tipo clorofluorcarbonos, utilizados como propelentes, em refrigeradores, ar condicionado e na produção de espumas plásticas. Estes estudos renderam aos cientistas em 1995 o Prêmio Nobel em Química na área atmosférica analisando a formação e decomposição do ozônio.

Rowland, Molina e Crutzen (1992) mostraram que o uso destes gases pode causar danos significativos a camada de ozônio que protege o planeta de radiações nocivas como a radiação ultravioleta emitida pelo sol. Esta foi a primeira vez que um Prêmio Nobel por pesquisas a respeito do impacto sobre o meio ambiente foi atribuído. As descobertas levaram a necessidade de se criar tratados internacionais em referência ao meio ambiente, os quais ao final do ano seguinte a premiação, 1996, banuiu a produção nas indústrias químicas de substâncias depletoras da camada de ozônio.

Para se determinar os efeitos destas substâncias químicas, foi preciso quantificar as ações e o potencial de provocar danos a atmosfera. Conforme Maclaine & Leonardi (1996), os CFCs possuem um potencial de degradação do ozônio (ODP): a razão entre o ozônio destruído por um quilograma de R12. Além disso, estes refrigerantes possuem um fator de aquecimento global (GWP): sendo a razão entre a radiação térmica adicional à superfície terrestre devido a um quilograma de substância emitida instantaneamente para a atmosfera em relação a mesma quantidade de massa de dióxido de carbono.

Pela teoria de Rowland – Molina, o ozônio está em constante formação e destruição. O grande problema é a liberação dos átomos de cloro pela decomposição dos CFCs na estratosfera acrescentando substancialmente a taxa de degradação natural do ozônio, Rowland (1992).

Na verdade a relação entre o ozônio e o oxigênio na atmosfera não é de um equilíbrio químico, entretanto é caracterizado como um estado permanente fotoquímico. O constante bombardeamento da atmosfera pela radiação ultravioleta solar mantém a produção do ozônio, enquanto as diversas reações químicas transformam-no de volta a estrutura molecular do oxigênio, mantendo um nível estável. Com o aumento da concentração de CFC a taxa de remoção de cloro, a concentração média de ozônio de uma forma global permanece em um nível baixo.

2.2 Fluidos refrigerantes alternativos

Cerca de 50 substâncias diferentes foram extensamente usadas ou pesquisadas como um fluido de trabalho ao longo da história da refrigeração em um século de existência. A maioria destes foram descartados por não serem adequados por diversas razões. Contudo, um número significativo de opções ainda permanece a ser adaptados em várias condições e aplicações.

De acordo com Lorentzen (1995), praticamente todas as necessidades dos sistemas de refrigeração convencionais e bombas de calor são atendidas por três refrigerantes naturais abundantemente disponíveis: amônia, mistura de hidrocarbonetos (como o propano e butano), e o dióxido de carbono.

A utilização da amônia como fluido de trabalho se estende por quase 120 anos, existindo uma experiência vasta na utilização deste refrigerante. Não se pode negar as excelentes propriedades termodinâmicas e de transporte da amônia, aliás muito superior aos CFCs. Uma instalação contendo amônia ganha na economia e eficiência energéticas em função dos dimensionamentos e seleção dos equipamentos do projeto, por serem baseados no menor custo, peso, tamanho e simplicidade. Não necessita, pois, um compressor de altas rotações, tubulações espessas e trocadores de calor de grande desempenho. Outra vantagem é a sua tolerância diante dos óleos minerais, baixas sensibilidades a pequenas quantidades de água no sistema, detecção simples de vazamento, disponibilidade ilimitada e baixo custo.

Em uma instalação contendo amônia, o gás de trabalho é mais leve que o ar facilitando sua remoção convectando-o para fora do recinto por meio de um sistema de ventilação, podendo ser controlado por um sensor que detecta a presença da amônia. Pode-se propor (e recomenda-se) um fluido secundário para a devida refrigeração do compartimento a ser condicionado.

A mais de 40 anos atrás os hidrocarbonetos foram testados pela primeira vez em sistemas de refrigeração de pequeno porte em um equipamento convencional sem apresentar nenhum problema e desenvolvendo um excelente desempenho, Lorentzen (1995). Desde então, a utilização de misturas – propano, isobutano, e outros hidrocarbonetos – têm sido aperfeiçoado a ponto de ser destinada a instalações de refrigeração de grande porte.

O propano possui excelentes propriedades termodinâmicas muito semelhantes à amônia e R22. Já em comparação ao R12, pode-se constatar por meio dos estudos de Bodio et al, (1993) que nem o propano e muito menos o butano podem isoladamente ser utilizado exatamente como substituto. Contudo, quando se produz uma mistura de propano/butano (50%/50%) a pressão de vapor saturado se aproxima a do R12, tornando este uma boa aproximação para a utilização. A sua elevada massa molar permite uma adaptação em compressores de grandes potências como sistemas de produção de

água gelada como os chillers. Além disso, é compatível com óleos lubrificantes e materiais de construção mecânica convencionais, universalmente disponível e a baixos custos.

A única desvantagem importante é o fato dos hidrocarbonetos serem combustíveis capazes de entrar em ignição com baixos limites de concentração, o que pode ser lidado da mesma forma que a amônia por meio de uma estrutura de revestimento que impeça um possível vazamento ou um sistema de ventilação como foi descrito anteriormente. Portanto torna-se necessário uma manutenção e manuseio feitos por pessoas credenciadas para efetuar um trabalho com mais cuidado.

O dióxido de carbono foi um refrigerante utilizado desde o início do século 20, possuindo grande número de qualidades. Primeiro, a pressão de trabalho se situa em uma faixa que permite uma otimização econômica. Além disso, a razão de compressão é extremamente reduzida em comparação a outros refrigerantes. Outro fator relacionado a compressão é a compatibilidade do óleo lubrificante e materiais de construção. Em termos de acessibilidade, o refrigerante se encontra em grande quantidade e facilidade. A operação e manutenção são simples, não necessitando mão de obra especializada. As elevadas pressões são os maiores problemas desse fluido refrigerante.

2.3 Aplicações do GLP na climatização de veículos

Por meio de modelos computacionais, o desempenho e outras características principais de um sistema ideal de ar condicionado de veículos automotivos poderia ser facilmente simulado de forma semelhante às pesquisas feitas por Joudi et al, (2003). Uma variedade de fluidos refrigerantes de excelentes características conforme analisadas por Granryd, (2001) como os R290, R600a, misturas de propano (R290) e isobutano (R600a) e outros hidrocarbonetos poderiam ser examinados para comparações futuras com as análises experimentais conforme a Tabela 2. A influência da temperatura do evaporador e condensador e velocidade de rotação do compressor poderia ser considerada para indicar as especificações mais adequadas do conjunto sistema/refrigerante.

Tabela 2. Características de alguns hidrocarbonetos (Granryd 2001)

		Formula	Peso molar	NBP, °C	T _{crit} °C	ρ _{crit} °C
Etano	R170	C ₂ H ₆	30.07	-88.6	32.2	48.7
Butano	R600	C ₄ H ₁₀	58.12	-00.5	152.0	38.0
Isobutano	R600a	C ₄ H ₁₀	58.12	-11.7	134.7	36.4
Propano	R290	C ₃ H ₈	44.10	-42.1	96.7	42.5
Ciclopropano	RC270	C ₃ H ₆	42.08	-32.9	124.7	54.9
Propeno	R1270	C ₃ H ₆	42.08	-47.7	91.8	46.1
Éter dimetílico	(DME)	C ₂ H ₆ O	46.07	-24.7	126.9	53.7

Uma diferença substancial entre ar condicionado automotivos em comparação aos sistemas convencionais de refrigeração seria a necessidade de suplementar sua carga de refrigerante pelo fato da existência de vazamentos decorrente dos elementos flexíveis de conexão, eixo rotativo do compressor e outras partes, aumentando o custo total de operação, contudo a vazão mássica para hidrocarbonetos como o GLP é consideravelmente menor que os convencionais R12 e R134a Akash & Said, (2003) tornando o GLP uma boa escolha.

O ar condicionado destinado para veículos de passeio possui uma carga normalmente de 1 litro de líquido (Peters, 1996). Uma ruptura completa e instantânea das tubulações contendo líquido à montante da válvula de expansão poderia liberar uma névoa branca de gás liquefeito de petróleo (refrigerante GLP) para dentro do compartimento do passageiro conforme mencionado por Maclaine-cross e Leonardi (1995). Simplesmente com o ato de se abrir as janelas cria-se uma situação de segurança em segundos, resultando um corrente de ar fresco prevenindo asfixiação e possivelmente uma eventual ignição. Propriedades de hidrocarbonetos são mostrados na Tabela 3 considerando os níveis de segurança dos gases, temperatura e energia de ignição.

Pode-se focar antecipadamente estudos já realizados por outros autores como Joudi et al (2003) os quais concluem a superioridade em termos de desempenho do R290/R600a como um substituto para o R12. Além disso constatou-se uma capacidade de refrigeração com o R-290 sendo por volta de 5% maior que o R12. Para o caso do R600a, a refrigeração foi ligeiramente inferior mas com um consumo de 10% abaixo dos valores coletados do R12, portanto um candidato para utilização. Em termos de conforto para os passageiros, o tempo requerido para o condicionamento foi menor para as misturas de hidrocarbonetos do que o R12 em todas condições experimentais. Além do mais, a baixa vazão mássica o torna um gás indicado para sistemas de pequeno porte.

Tabela 3. Propagação de chamas e ignição para refrigerantes inflamáveis (Granryd, 2001)

Refrigerantes	LFL % (vol.)	UFL % (vol.)	Temperatura de Ignição (°C)	Energia de Ignição (J)
Propano (R290)	2.1	9.5	466	0.00025
Isobutano (R600a)	1.3	8.5	455	0.00025
Ciclopropano (RC270)	2.4	10.4	495	0.00017
Éter dimetil (DME)	3.4	17.0	235	-
R152a	3.9	16.9	-	0.22
Amônia (R717)	15.5	27.0	651	0.68

2.4 Aplicações do GLP e fluidos alternativos em Chillers.

O protocolo de Montreal requer a diminuição da produção ou importação do refrigerante mais utilizado em Chillers, R11, até o ano de 2005. O segundo mais popular nesta área de atuação da indústria da refrigeração é o R22. Também existe o mais recente R123 introduzido no mercado. Ambos devem ser severamente reduzidos até 2005 e eliminados antes de 2030 pelos países participantes deste protocolo.

Além dos refrigerantes citados acima, sistemas de ar condicionados do tipo Chiller pode comportar outros fluidos como o R134a, os refrigerantes alternativos como os hidrocarbonetos R600, R600a, R290, e além de outros como o R717.

Os fluidos de trabalho a serem analisados devem atender as características de operação dos compressores para que ocorra compatibilidade evitando perdas de eficiência e consumo excessivo de energia. Estas análises foram efetuadas por Maclaine-cross (1999) e apresentadas a seguir. Para o projeto de um chiller, o R717 oferece o maior coeficiente de desempenho. Uma conversão de R22 para R134a iria reduzir a eficiência, o que não é nada desejado. O R290 e R717 possuem deslocamentos efetivos similares ao R22, portanto a capacidade seria também similar. O R290 deve apresentar um coeficiente de desempenho global ligeiramente inferior ao R22 para um equipamento casca e tubos. Contudo, o R717 ultrapassa o valor do coeficiente de desempenho do R22, tornando esta possibilidade a melhor alternativa em termos energéticos. Apesar de o R290 ser um substituto muito conhecido, deve ser utilizado em detrimento ao R717 em casos onde este possui problemas de compatibilidade como os materiais de construção mecânica como o cobre e alumínio, capazes de ocorrer uma corrosão em locais em que estiverem em contato.

2.5 Aspectos de Segurança no uso do GLP como refrigerante

Maclaine-cross & Leonardi (1995) apresentaram os resultados de um ensaio destrutivo em um refrigerador de 142 L, utilizando propano R290 com carga de 40 g, onde foi detectado um vazamento de 12 g e o resto permaneceu no interior da tubulação. Centelhas de alta energia foram provocadas para simular uma explosão. Os resultados mostraram a ignição como sendo parcialmente explosiva com chamas de curta duração incapazes de provocar ferimentos em qualquer pessoa que estivesse próximo.

Outro ensaio destrutivo efetuado por James & Missenden (1992) em que dois refrigeradores de pequeno porte foram submetidos a um processo de incineração apresentaram resultados animadores. Um foi carregado com um refrigerante R12, ao passo que o segundo teve sua carga substituída pelo propano às mesmas condições. A influência da carga não foi significativa em relação ao tipo e inflamabilidade. O propano não mostrou adicionar maior intensidade de combustão ao fogo. Na verdade, o óleo lubrificante junto com o vapor resultante provocaram chamas longas e duradouras até o fim do experimento.

3.0 Conclusões

Devido as excelentes propriedades e parâmetros de desempenho, os fluidos refrigerantes a base de hidrocarbonetos pode ser adotado como um substituto para os CFCs (R11, R12 e R22) e os hidrofluorcarbonos (R134a). A grande quantidade de informações coletadas até agora garante uma boa compreensão do funcionamento destas substâncias em sistemas de refrigeração convencional pelo ciclo de compressão a vapor, amenizando as preocupações devido à capacidade de se inflamar e como este fluido irar se interagir com os diversos componentes dos sistema. O baixo preço por volume de propano/isobutano e a redução no gasto energético pelos aparelhos destinados a utilizar estes fluidos torna a alternativa de efetuar tal substituição não só tecnologicamente mas também economicamente viável para os consumidores e montadoras de equipamentos de refrigeração.

4.0 Referências Bibliográficas

- 37th Meeting of the Executive Committee of the Multilateral Fund for the Implementation of the Montreal Protocol , Multilateral Fund for The Implementation of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, Final Revision September 2002.
- Akash, B.A., Said, S. A., 2003, Assessment of LPG as a possible alternative to R-12 in domestic refrigerators, *Energy Conversion and Management*, Volume 44, Issue 3, Pages 381-388.
- Bodio, E., Chorowski, M., Wilczek, M., 1993, Working parameters of domestic refrigerators filled with propane-butane mixture. *Int. J. Refrigeration* 16 5 (1993), pp. 353–356.
- Alsaad, M. A., Hammad, M. A. ,1998, The application of propane/butane mixture for domestic refrigerators, *Applied Thermal Engineering*, Volume 18, Issues 9-10, 1 September, Pages 911-918.
- CONCAWE, 1992, Liquefied petroleum gas, CONCAWE's Petroleum Products and Health Management Groups, product dossier no. 92/102, Brussels, June.
- Granryd, E., 2001, Hydrocarbons as refrigerants - an overview, *International Journal of Refrigeration*, Volume 24, Issue 1, Pages 15-24.
- James, R.R., Missenden, J.F.,1992, The use of propane in domestic refrigerators. *Int. J. Refrigeration* 15 2 (1992), pp. 95–100.
- Joudi, K.A., Mohammed, A.S.K, Aljanabi, M.K., 2003, Experimental and computer performance study of an automotive air conditioning system with alternative refrigerants, *Energy Conversion and Management*, Volume 44, Issue 18, November 2003, Pages 2959-2976.
- Lee, Y. S. , Su, C. C., 2002, Experimental studies of isobutane (R600a) as the refrigerant in domestic refrigeration system, *Applied Thermal Engineering*, Volume 22, Issue 5, April, Pages 507-519.
- Lorentzen, G., 1995, The use of natural refrigerants: a complete solution to the CFC/HCFC predicament, *International Journal of Refrigeration*, Volume 18, Issue 3, March, Pages 190-197.
- Maclaine-cross, I. L., Leonardi, E., 1996,Comparative Performance of Hydrocarbon Refrigerants, I.I.F.-I.I.R.-Commissions E2, E1, B1, B2 - Melbourne (Australia).
- Maclaine-cross, I. L., Leonardi, E.,1995, Performance and Safety of LPG Refrigerants, Proceedings of the 'Fuel for Change' Conference of the Australian Liquefied Petroleum Gas Association Ltd, ISBN 0 646 24884 7, Surfers' Paradise Queensland, pp. 149–168.

- MacLaine-cross, I., Leonardi, E., 1997, Why Hydrocarbons Save Energy, AIRAH Journal, June 1997, Volume 51 No. 6, pp. 33-37.
- McLinden, M. O., Lemmon, E. W., Jacobsen, R. T., 1998, Thermodynamic properties for the alternative refrigerants, International Journal of Refrigeration, Volume 21, Issue 4, June, Pages 322-338.
- Peters, J., 1996, Hydrocarbon Based Commercial Refrigeration Systems - Design, Safety Requirements, Service and Maintenance, International Conference on Ozone Protection Technologies, Washington, DC, October.
- Purkayastha, B., Bansal, P.K., 1998, An experimental study on HC290 and a commercial liquefied petroleum gas (LPG) mix as suitable replacements for HCFC22, International Journal of Refrigeration, Volume 21, Issue 1, Pages 3-17.
- Rowland, F. S., 1992, The CFC controversy: Issues and answers, ASHRAE Journal, December 1992, pp 20-27.
- Tashtoush, B., Tahat, M., Shudeifat, M. A., 2002, Experimental study of new refrigerant mixtures to replace R12 in domestic refrigerators, Applied Thermal Engineering, Volume 22, Issue 5, April, Pages 495-506.

5.0 DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

HYDROCARBONS AS REFRIGERATING FLUID: STATE OF THE ART

Plínio Santos Teixeira

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Refrigeração e Ar Condicionado, Asa Norte, Brasília, DF, CEP 70910-900, plinioteixeira@ig.com.br

João Manoel Dias Pimenta

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Refrigeração e Ar Condicionado, Asa Norte, Brasília, DF, CEP 70910-900, pimenta@unb.br

Abstract: *The use of natural refrigerant fluid have attracted renewed attention in the last decade due to its potential as a substitute for the CFC's, propitiating environmental advantages, with a zero ODP and negligible GWP. Among the alternatives of natural refrigerants, such as hydrocarbon gas mixtures of propane and butane (liquefied petroleum gas LPG) have been considered for its favorable thermodynamic and transport properties, resulting in an excellent performance in a refrigeration cycle. These aspects have stimulated the use of hydrocarbons in domestic refrigerators, automobile air conditioning, and industrial systems. As a result, the main world economies detain the rules of the use of hydrocarbons in refrigerating systems, and commercializing domestic refrigeration equipment as well. In Brazil on the other hand, little or nothing has been done in regard to the investigation of alternative refrigerant fluids such as hydrocarbons. Thus, it is essential to analyze one of the greatest challenge imposed by the Montreal protocol: to protect the ozone layer without affecting the economies of developing countries in its transition to new technologies. In this context, the newest and most important information is presented in the use of hydrocarbons as refrigerant in refrigeration systems, as an alternative to conventional synthetic fluids, with emphasis to: i) historical of the application of refrigeration fluids with respect to environmental issues, ii) state of the art in regard to the employment of hydrocarbons in refrigeration systems, iii) theoretical comparison, under computational simulation, among hydrocarbon refrigeration fluids and other alternative fluids, iv) safety aspects in the use of LPG as a refrigerant.*

Keywords: LPG, refrigerants, hydrocarbons, review.