

ESTUDO EXPERIMENTAL DE UM REFRIGERADOR DOMÉSTICO COM RETROFIT DE R600A

Marques J. C. B.¹, Lima, W. B. de¹, Barbosa C. R. F.², Fontes F. de A. O.²

¹Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, NTI, S/N, Natal- Brasil, email: borgesborges@estadao.com.br

²Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica, NTI, S/N, Natal- Brasil, email: cleiton@ufrnet.br

Área Temática: Termotecnia - Termodinâmica

RESUMO

Os refrigerantes hidrocarbonetos estão sendo usados em novos equipamentos de refrigeração em diversos países porque não contribuem para a degradação da camada de ozônio e exibem um baixo potencial de aquecimento global. No Brasil devido à produção incipiente de refrigeradores domésticos utilizando hidrocarbonetos, os refrigerantes de transição continuarão em cena por mais alguns anos. Na presente pesquisa foram instalados em um refrigerador doméstico sensores de pressão e de temperatura em pontos estratégicos do ciclo de refrigeração, conectados a um sistema de aquisição de dados computadorizado, de modo a permitir o mapeamento e a análise termodinâmica do dispositivo operando R-134a ou com R-600a. O refrigerador de testes operando com R-600a apresenta uma performance muito similar ao R-134a.

PALAVRAS CHAVE: refrigeração, refrigerantes hidrocarbonetos, eficiência, aquecimento global, camada de ozônio.

INTRODUÇÃO

No início do século XX a refrigeração por compressão de vapor utilizava os refrigerantes naturais amônia, ácido sulfúrico, dióxido de carbono, e hidrocarbonetos, entretanto a partir da década de 30, com o aparecimento dos refrigerantes sintéticos CFCs, iniciou-se uma substituição gradativa dos refrigerantes naturais por sintéticos, uma vez que estes não são inflamáveis, não são explosivos, não são tóxicos, não tem cheiro, e não corroe metais.

Entretanto com a constatação da destruição da camada de ozônio, a partir de 1974, provocada pela ação sucessiva de elementos reativos como o cloro livre, proveniente da decomposição de compostos halogenados na estratosfera, fez com que a comunidade científica mundial procurasse adotar ações para mitigar os impactos causados pelas SDOs (substâncias destruidoras de ozônio).

Como resultado em 1987 foi firmado o Protocolo de Montreal, por mais de 160 países, visando aplicar um cronograma para a redução, eliminação e controle para a produção e consumo das SDOs.

Na discussão deste problema envolve a substituição das SDOs por outras substâncias (atividade esta conhecida como retrofit) daí ocorrendo o aparecimento na década de 80 e 90 dos hidrofluorcarbono (HFC) como substâncias substitutas dos clorofluorcarbono (CFC) e hidroclorofluorcarbono (HCFC), portanto os HFCs por não terem na sua composição o cloro não destroem a camada de ozônio, porém contribuem para o processo de aquecimento global terrestre.

Os HFCs são gases de efeito estufa e fazem parte da cesta de seis gases, cujas emissões devem ser reduzidas de acordo com o Protocolo de Kyoto. Pelo Protocolo de Kyoto as emissões individuais dos gases de efeito estufa serão integradas como emissões equivalentes de dióxido de carbono utilizando seus potenciais de aquecimento global (GWPs).

Muitos países desenvolvidos devem reduzir suas emissões equivalentes em dióxido de carbono (CO₂) em 5,2% abaixo dos níveis de 1990 para CO₂, CH₄, N₂O, a níveis de 1995 para HFCs, PFCs, SF₆ durante o período de 2008 a 2012. Desta maneira os hidrocarbonetos que fazem parte do grupo de refrigerantes naturais, naturais por não serem substâncias destruidoras da camada de ozônio e contribuição desprezível para o aquecimento global terrestre retornam como uma possível solução para substituição desses refrigerantes sintéticos, principalmente em refrigeradores domésticos face às pequenas massas de refrigerantes envolvidas, minimizando os aspectos de segurança.

Segundo [1], os refrigerantes naturais por causarem menores impactos ambientais e por serem mais adequados dentro da perspectiva de desenvolvimento tecnológico sustentável podem vir a ter um papel importante no futuro como solução técnica em diversas aplicações como refrigerantes.

O uso de refrigerantes naturais também é defendido do ponto de vista econômico. Os refrigerantes são muito baratos, o que tem efeito positivo, não só no custo associado à carga inicial de refrigerante de uma instalação, mas também, considerando os custos operacionais devido à necessidade de reposição em função dos vazamentos, além da diminuição do consumo de energia de uma instalação face ser altamente eficientes.

Na tabela 1 podemos observar e comparar os impactos ambientais de alguns refrigerantes sintéticos e naturais.

Tabela 1. Impacto ambiental de alguns hidrocarbonetos comparados a outros refrigerantes.

REFRIGERANTE	ODP	GWP	Tempo de vida	
			na atmosfera (anos)	
R-12 Diclorodifluormetano(CFC)	0,820	10600	100	
R-22 Clorodifluormetano(HCFC)	0,034	1900	11,8	
R-134a 1,1,1,2Tetrafluoretano (HFC)	0	1600	13,6	
R-290 Propano	0	< 3	< 1	
R-600 Butano	0	< 3	< 1	
R-600a Isobutano	0	< 3	< 1	
R-1270 Propileno	0	< 3	< 1	

Os refrigerantes hidrocarbonetos

Há mais de 50 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 demonstrando um excelente desempenho termodinâmico [2]. Desde então, a utilização de misturas de propano (R-290), isobutano (R-600a), e outros hidrocarbonetos têm sido aperfeiçoada a ponto de ser destinada a instalações de refrigeração de grande porte.

O propano possui excelentes propriedades termodinâmicas, muito semelhantes à amônia e R-22. O retrofit com R290 ou R600a não apresenta performance satisfatória em refrigeradores com R-11 ou R-12. Estudos mostram que a melhor alternativa é o uso de misturas destas substâncias [3]. A mistura de 50% de propano e 50% de butano tem uma pressão de vapor saturado equivalente a do R-12.

Resultados experimentais no desempenho de hidrocarbonetos em refrigeração, como o propano (R-290) e GLP (gás liquefeito do petróleo) foram avaliados como substituto ao R-22 em aplicações de sistemas de refrigeração e bombas de calor por [4] mostrando que o desempenho dos hidrocarbonetos foi de 18% superior ao R-22 para o R-290 e de 12% superior ao R-22 para o GLP, com temperatura de condensação menores que 35° C e com temperatura de evaporação de 3° C. A composição do GLP empregada pelos autores foi de propano (98,95%), etano (1,007%), isobutano (0,0397%) além de outras substâncias em menores concentrações.

As possibilidades de se utilizar hidrocarbonetos como fluidos refrigerantes em equipamentos de refrigeração são discutidos por Granryd [5]. Diferentes hidrocarbonetos são listados e as características em termos de ciclos

termodinâmicos e transferência de calor são apresentadas. O autor observa que a mistura propano\butano na proporção 50%\50% se destaca por estar em um patamar de desempenho entre o R-12, R-22 e o R-134a, podendo desta maneira ser um excelente substituto em diversas aplicações.

Resultados experimentais do desempenho do GLP como possível substituto ao R-12 em sistemas de refrigeração doméstica foi apresentado por Akash et al. [6] mostrando que os valores de COPs (coeficiente de performance) do GLP foram superiores aos do R-12, com a composição do GLP, em massa, de 30% de propano, 55% de burano e 15% de isobutano, para cargas de 50,80 e 100 gramas.

Conforme relatado por [7], em 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 R-12. Tem-se relatado resultados em que se alcança uma diminuição superior a 20% em consumo energético. Em alguns casos [8], 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, são 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 R-134a por misturas de hidrocarbonetos [9].

Em uma análise de simulação realizada por [10] concluiu-se que a mistura de propano\butano\isobutano com 60% em massa de propano é o melhor substituto para o R-134a em refrigeradores domésticos. A pressão de vapor do R-134a e a mistura ternária de hidrocarbonetos com 60% em massa de propano são quase a mesma. A mistura ternária de hidrocarbonetos com 60% em massa de propano apresenta quase a mesma pressão de vapor do R-134a, produz uma temperatura de descarga do compressor de 2° C mais alta, as massas da mistura são mais baixas em 50%, a carga térmica do condensador e o trabalho do compressor são aproximadamente iguais, e o COP é mais elevado de aproximadamente 2,3%.

Segundo [11] para uma mesma cilindrada (cm^3/rev), a capacidade frigorífica do R-600a é cerca de 49% menor quando comparada com a do R-12 e 43% menor quando comparada com a do R-134a, portanto os compressores para R-600a são significativamente diferente dos compressores para R-134a e R-12.

Segundo a [12] o R-600a necessita um incremento em torno de 90% no deslocamento volumétrico (cm^3/rev) em relação ao R-12.

A utilização de hidrocarbonetos como refrigerante na Europa é, sobretudo avançada. Para sistemas de refrigeração doméstica, por exemplo, tem-se um mercado muito bem estabelecido no continente europeu, sem, contudo haver registro de acidentes graves. A aceitação pelo público em países como Áustria, Dinamarca, Finlândia, Alemanha, Holanda, Noruega, Suécia, Reino Unido, Itália e Espanha é grande, com cerca de 80% dos refrigeradores utilizando o isobutano (R-600a). Na Alemanha mais de 200 milhões de refrigeradores domésticos usando hidrocarbonetos foram fabricados desde 1994, sem registros de acidentes em sua utilização [13]. Verifica-se também uma aceitação cada vez maior do uso dos refrigerantes hidrocarbonetos em outros países europeus e do sudeste asiático [5].

Na América Latina, a principal experiência no uso de hidrocarbonetos refere-se ao projeto cubano que a partir de 1994, em parceria com a Alemanha e Canadá, desenvolveram um refrigerante a partir do GLP (gás liquefeito do petróleo), constituído por uma mistura ternária de hidrocarbonetos (propano, butano e isobutano) chamado de LP-12, que tem sido utilizado como um substituto "drop-in" para o refrigerante CFC-12 em refrigeradores domésticos e pequenos refrigeradores e congeladores comerciais. A partir de 1997 iniciou a produção de refrigeradores domésticos com refrigerante isobutano e a partir de 2001 com o apoio da GTZ e da Agencia Ambiental do Canadá foi instalada uma planta de destilação para produzir propano e isobutano com alto grau de pureza. Até 2003, contabilizava-se a conversão de 400.000 refrigeradores domésticos e 10.000 refrigeradores comerciais para o uso de LB-12; e a produção de 40.000 refrigeradores com refrigerante isobutano [13].

Os dados das propriedades termofísicas necessárias ao uso de propano, butanos como refrigerantes foram bem estabelecidos ao longo dos anos, e devido ao crescimento do uso dessas substâncias como misturas de refrigerantes, as propriedades correspondentes a estas combinações foram igualmente bem documentadas, amenizando as preocupações devido à capacidade de se inflamar e como este fluido irá se interagir com os diversos componentes do sistema.

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, butanos e misturas usuais. Além disso, muito se sabe sobre o grau de toxicidade destes gases e os limites de exposição aos refrigerantes.

Considerando que neste experimento faremos uma análise comparativa entre o (R-600a) e o R-134a, apresentamos na tabela 2 algumas características desses fluidos.

Tabela 2. Comparativo entre as propriedades dos fluidos refrigerantes.

Refrigerante	R600a	R134a	R-12
Temperatura crítica (°C)	135	101	112
Peso molecular (kg/mol)	58,1	102	120,9
Flamabilidade	Inflamável	Não Inflamável	Não Inflamável

Para o caso brasileiro, as vantagens alcançadas por uma substituição de importações dos fluidos sintéticos pelos refrigerantes naturais como os hidrocarbonetos tornaria a adoção destas substâncias uma necessidade e ponto forte para a economia nacional. Hoje o Brasil importa 100% do seu consumo de gases de refrigeração. O total anualmente importado é da ordem de 20.000 toneladas trazendo um gasto para o país de aproximadamente 50 milhões de dólares. No final de 1995 foi encerrada a produção de CFC-11, CFC-12, e HCFC-22 pela Hoechst e em 1999 a planta da DuPont foi fechada. O consumo de R-134a está desta forma aumentando, sendo o R-22 o gás de maior uso hoje no setor comercial, condenado a ser retirado a partir de 2030 [14].

Base de comparação

Um sistema de refrigeração por compressão de vapor pode ser avaliado e/ou comparado em termos de sua eficiência energética através do cálculo do COP, que é uma grandeza adimensional. O coeficiente de performance é definido como a razão entre o efeito útil, que é a energia térmica removida no evaporador (Q_{ev}) e a energia necessária, que é o trabalho realizado pelo compressor (W), como é mostrado na Eq. (1).

$$COP = Q_{ev} / W \quad (1)$$

As energias de refrigeração e de compressão podem ser obtidas através de balanços de energia no evaporador e no compressor, respectivamente. Pelo balanço térmico no evaporador, a energia removida no evaporador (Q_{ev}) é igual à energia removida da água. No procedimento experimental a energia removida da água será constante, considerando que será utilizada uma massa de água definida e mesmas temperaturas iniciais e finais da água, portanto a relação entre os COPs será obtida pela relação das energias necessárias com os dois refrigerantes, obtidas através da potência do compressor e o tempo para resfriamento da massa pré-estabelecida da água.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O aparato experimental usado na presente investigação foi um refrigerador doméstico de pequeno porte destinado ao resfriamento de água potável. Este refrigerador é composto por um evaporador, um condensador arrefecido a ar, um compressor hermético para fluido refrigerante R-134a, um filtro secador e tubo capilar. Foram inseridos no circuito frigorífico manômetros para monitoramento das pressões de condensação e evaporação e sensores de temperaturas (do tipo termopar) para mapeamento das propriedades termodinâmicas. Também foi instalado um controlador digital de temperatura (CDT) para o ajuste do set-point da câmara fria, um alicate wattímetro digital para medição da potência do compressor e um agitador mecânico para homogeneização da temperatura da água.

Na figura 1a temos uma vista geral da bancada experimental, composta do refrigerador, do CDT da unidade de refrigeração, das tomadas de pressão dos manômetros e do sistema de aquisição de dados. Na figura 1b tem-se um diagrama esquemático do circuito de refrigeração com os respectivos pontos de medição de temperatura e pressão.

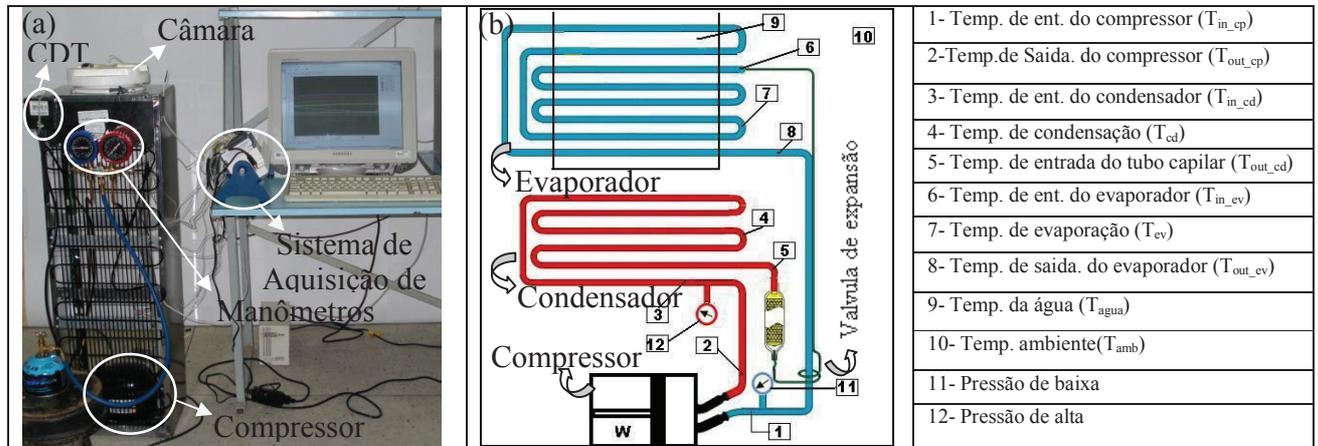


Fig. 1. Vista geral da bancada experimental (a), Representação esquemática do circuito de refrigeração com pontos de medição de pressão e temperatura (b).

Na tab. 03 abaixo são apresentados as características dos equipamentos e Instrumentos utilizados no experimento.

Tabela 3. Características dos equipamentos e instrumentos

Equipamento\Instrumento	Descrição\Características
Unidade de refrigeração	Masterfrio, modelo ICY, 220 V\60 Hz, gás Refrigerante R-134a, carga de 36g.
Compressor	EMBRACO, modelo EM 20 HHR, para aplicações de baixa pressão de retorno (LBP), eficiência isentrópica de 0,74, faixa de temperatura de evaporação de -35 °C até +15 °C, tipo de óleos ISO22, tipo de moto RSIR-CSIR, tipo de teste ASHRAE32
Termopares	Tipo K, faixa de medida de -40 °C a 204 °C, precisão de $\pm 0,75\%$ leitura, ou $\pm 2,2^\circ\text{C}$, conector tipo miniatura compensado. Modelo MTK01 da Minipa.
Termostato digital	Alimentação 115 ou 230 Vac (50\60 Hz), temperatura de controle de -50 a 105°C, resolução de 0,1°C (entre -10 e 100°C), corrente máxima de 16 A\250 Vac, temperatura de operação de 0 a 50°C Modelo TIC-17RGTi da Minipa.
Alicate Wattímetro digital	Modelo ET-4090 da Minipa, instrumento digital portátil para medidas de potência Com interface RS-232.
Manômetros analógico	Faixa da pressão de alta 0 a 34 bar, faixa da pressão de baixa -1 a 17 bar, modelo BM2-8 da Lokring

Ao longo do ciclo de refrigeração foram instalados oito termopares, do tipo K, em pontos estratégicos. A instalação desses termopares foi feita mediante preparo da superfície das tubulações com limpeza e lixamento, seguida de solda com estanho para melhor fixação dos termopares. Os sensores dos termopares foram ainda isolados com intuito de evitar entradas interferentes na medição. Dois termopares adicionais foram instalados, um monitorava a temperatura da câmara calorimétrica (sala climatizada) nas vizinhanças do equipamento de teste, e o outro monitorava a temperatura da água. O sensor termopar do CDT foi utilizado, unicamente para o controle on-off do compressor. Os dez termopares e o alicate wattímetro foram conectados a uma placa de aquisição de dados ligada a um computador, sendo o mapeamento das temperaturas e potência realizado mediante utilização do software MEASUREMENT & AUTOMATION EXPLORER, com uma taxa de aquisição de um ponto por segundo durante o tempo de cada ensaio, sendo possível então obterem-se gráficos de distribuição de temperaturas e potencia do compressor.

Desenvolvimento do experimento

Para todo o experimento foi adotado o volume de água no reservatório da unidade de refrigeração de 1,5 litros, com o set-point do CDT ajustado para entrada e saída do compressor para 26°C e 8°C respectivamente, sendo a

temperatura do ambiente climatizada controlada em $26 \pm 1^\circ\text{C}$. Com os registros obtidos no sistema de aquisição de dados foi registrado o tempo e a potência média obtida para a temperatura da água atingir 8°C .

Com as pressões de sucção (baixa) e descarga (alta) do compressor, superaquecimento, subresfriamento e a eficiência isentrópica do compressor foram determinados os ciclos termodinâmicos pra o refrigerante R-134a com a utilização do software COOLPACK. As perdas de pressão no interior das tubulações foram desprezadas, pois se trata de um sistema de pequeno porte e o comprimento equivalente da tubulação não é significativa para introdução de faixa de erros mensuráveis.

No primeiro momento a unidade de refrigeração foi avaliada com o refrigerante R-134a (refrigerante original), e posteriormente com o R600a. Uma vez que o propósito da investigação foi análise comparativa da performance do equipamento de teste com os dois refrigerantes, o retrofit consistiu simplesmente na substituição do refrigerante original (R134a) pelo R-600a, sem qualquer alteração das características físicas dos componentes principais (compressor, condensador, tubo capilar e evaporador).

RESULTADOS OBTIDOS

Após o início do funcionamento da unidade para cada refrigerante, esperou-se uma estabilização do sistema em um tempo de 10 minutos para serem tomadas as leituras das pressões de alta e baixa. Na tabela 04 são mostradas essas pressões para ambos refrigerantes.

Tabela 4. Pressão de operação do sistema.

	Pressão de baixa (bar)	Pressão de alta (bar)
R-134a	2,25	12,00
R-600a	2,05	7,56

Na figura 2(a) é mostrada a distribuição de temperaturas em função do tempo para cada termopar instalado com o sistema operando com o R-134a. Na figura 2(b) com o sistema operando com o R-600a.

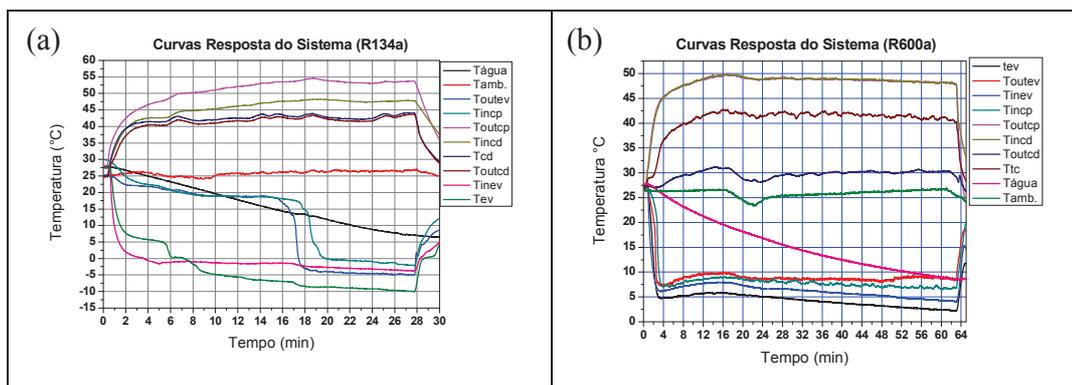


Figura 2. Distribuição de temperaturas: com R134a (a); com R600a (b).

Pode-se observar que as temperaturas de saída do compressor e entrada do condensador não apresentaram variações significativas para o R600a já para o R134a em torno de 18 minutos de ensaios a variação era de 6°C , notou-se também que a temperatura de evaporação (Tev) estabilizou após 4 minutos de ensaio para o R600a em torno de $5 \pm 2^\circ\text{C}$, enquanto para o R134a apresentou uma região de estabilização após 18 minutos, atingindo a temperatura de -10°C no final do ensaio.

Na figura 3 são mostradas as curvas de decaimento da temperatura da água de 26°C para 8°C e a potência em função do tempo para ambos fluidos refrigerantes.

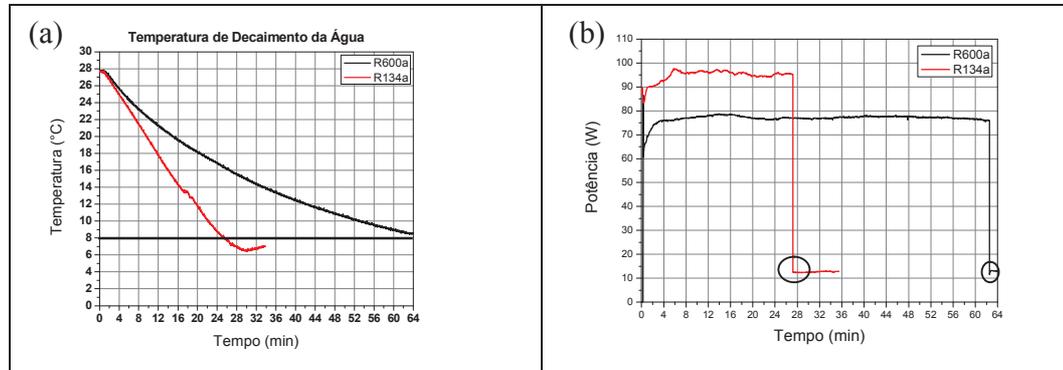


Figure 3. Temperatura de decaimento da água (a); Potência do sistema (b)

No gráfico da Fig. 3a e observado que a curva para o R-134a apresenta uma taxa de decaimento da temperatura da água maior que a curva do R600a, apresentando um tempo 58% menor para atingir 8°C mostrando assim uma melhor eficiência deste refrigerante.

No gráfico da Fig. 3b podemos observar a potência fornecida ao refrigerador. Para o cálculo da potência média foi subtraída a potencia do CDT, que estava na mesma alimentação e pode ser observada no gráfico quando o compressor é desligado (em torno de 27 min para o R-134a e 62 min para R600a), e o resultado é apresentado na Tab. 4.

Tabela 5. Tempo de resfriamento e Potência média

	Tempo de resfriamento (s)	Potência média (Watts)
R-134a	1500	83,0
R-600a	2340	54,10

De posse da potência media e do tempo de resfriamento foi calculada a razão dos COPs pela Equação 2.

$$\frac{COP_{R600a}}{COP_{R134a}} = \frac{Q_{ev_{R600a}}}{W_{R600a}} * \frac{W_{R134a}}{Q_{ev_{R134a}}} \quad (2)$$

Como Q_{ev} do R600a é igual ao Q_{ev} do R134a porque o calor retirado da água é o mesmo, e que a W (energia necessária) é igual a potência media multiplicada pelo tempo de resfriamento, obtemos:

$$\frac{COP_{R600a}}{COP_{R134a}} = 0,543$$

Portanto, verifica-se que um retrofit com o R-600a obtém uma performance energética ligeiramente inferior em comparação com o R-134a, entretanto, considerando que o sistema utilizado no experimento foi dimensionado para o R-134a (compressor, condensador, evaporador, tubo capilar) é possível alteração desses resultados se os parâmetros forem otimizados para a operação com o R-600a, como por exemplo, ajuste do volume deslocado do compressor para a mesma capacidade de refrigeração do modelo equivalente para o R-134a.

CONCLUSÕES

- a) A potência média do compressor operando com o R-600a é 22,7% inferior quando operando com R-134a neste refrigerador.
- b) O tempo de resfriamento de uma massa de água utilizando como fluido refrigerante o R-600a é 138% maior que o tempo do R-134a neste refrigerador.
- c) O COP do R-134a, neste refrigerador, é superior em 84% em relação ao COP para o R-600a.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi suportado pelo programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Projeto Minter) e CAPES.

REFERÊNCIAS

1. Peixoto R.A., 2007, "Hidrocarbonetos – estado atual e tendências". Revista Climatização & Refrigeração, nº 83. <www.nteditorial.com.br>.
2. Lorentzen, G., 1995, The use of natural refrigerants: a complete solution to the CFC/HCFC predicament. International Journal of Refrigeration, Vol. 18, Issue 3, March, pp. 190-197.
3. Bodio, E., Chorowski, M., Wilczek, M., 1993, Working parameters of domestic refrigerators filled with propane-butane mixture. International Journal Refrigeration, Vol. 16 Issue 5, pp. 353-356.
4. Purkayastha, B., Bansal, P.K., 1998, Na experimental study on HC290 and a commercial liquefied petroleum gas (LPG) mix as suitable replacements for HCFC22. International Journal Refrigeration, Vol. 21, Issue 1, pp. 3-17.
5. Granryd, E., 2001, Hydrocarbons as refrigerants – an overview. International Journal of Refrigeration, Vol. 24, Issue 1, pp. 15-24.
6. Akash, B.A, Said, S.A., 2003, Assessment of LPG as a possible alternative to R-12 in domestic refrigerators. Energy Conversion and Management, Vol.44, Issue 3, pp. 381-388.
7. Teixeira, P.S., Pimenta, J.M., Hidrocarbonetos como fluidos refrigerantes: Estado da arte. III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém, Pará, 2004.
8. Bodio, E., Chorowski, M., Wilczek, M., 1993, Working parameters of domestic refrigerators filled with propane-butane mixture. International Journal Refrigeration, Vol. 16 Issue 5, pp. 353-356.
9. James, R.R., Missenden, J.F., 1992, The use of propane in domestic refrigerators. International Journal Refrigeration, Vol. 15, Issue 2, pp. 95-100.
10. Fatouh, M. , Kafafy M. El , 2006, "Assessment of propane\commercial butane mixtures as possible alternatives to R-134a in domestic refrigerators. Energy Conversion & Management, Vol 47 (2006), pp. 2644-2658.
11. Tecumseh. Isobutano-Entendendo as diferenças. Revista Fic Frio. Ano 15 nº 72, Abril\2007, p. 5-7. Disponível em: <<http://www.tecumseh.com.br>>.
12. Embraco. Refrigerantes Hidrocarbonos como substitutos ao R 12. Junho\2008(Informativo Técnico, código 93659).
13. MMA, 2005, Uso de Fluidos Refrigerantes Hidrocarbonetos: Situação atual e Tendências Futuras. Ministério do Meio Ambiente. <<http://www.mma.gov.br/port/sqa/ozonio/>>.
14. Pimenta, J.M., Teixeira, P.S., 2004, Estudo da Aplicação de Hidrocarbonetos como fluidos Refrigerantes. In: MERCOFRIO 2004 – Congresso de ar condicionado, refrigeração, aquecimento e ventilação do mercosul, Curitiba, Paraná.