



# SICIT 2018

Semana de Iniciação  
Científica e Tecnológica

Universidade de Itaúna

## ANÁLISE DO *RETROFIT* DE UMA BANCADA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO

Lucas Pinto da Silva, Universidade de Itaúna, lucas280498@hotmail.com.

Mateus Rafael Lourenço, Universidade de Itaúna, mateusrafael25@hotmail.com.

Lucas Eduardo Rodrigues Siqueira, Universidade de Itaúna, lucaseduardors@outlook.com.

Bernardo Rodrigues Almeida Fernandes, Universidade de Itaúna, bernardofeng@hotmail.com.

Euler Rafael Rodrigues Júnior, Universidade de Itaúna, eulerrafaeljunior@hotmail.com.

Yuri Amaral de Ávila, Universidade de Itaúna, yuriaavila1@gmail.com.

Flávio França Vasconcelos, Universidade de Itaúna, flaviofv@yahoo.com.br.

João Pedro Paulino Martins, Universidade de Itaúna, joaopedromg16@yahoo.com.br.

João Pedro Santos Silva, Universidade de Itaúna, joaopedrosilva262@hotmail.com.

Mateus Rabelo Couto Orsine, Universidade de Itaúna, sonik@sonik.net.br.

Ewerton Augusto Souza Nogueira, Universidade de Itaúna, labmetal@uit.br.

Sabrina Nogueira Rabelo, Universidade de Itaúna, sasanogueirarab@hotmail.com.

**Resumo:** Os protocolos de Montreal, Kyoto e recentemente a Emenda de Kigali determinaram prazos para a substituição de diversos fluidos refrigerantes CFCs, HCFs, HCFCs, por fluidos naturais ou ambientalmente amigáveis. Desta forma, o presente trabalho aborda o *retrofit* realizado em uma bancada de refrigeração, cujo fluido inicial de trabalho era um hidroclorofluorcarbono (R-22) e foi trocado pelo R-134a. Testes experimentais foram realizados para se determinar e comparar o coeficiente de performance (COP) entre os fluidos refrigerantes. O motor responsável pela troca de calor no condensador teve sua rotação modulada por meio de inversor de frequência em 36, 48, 60 Hz. As pressões e as temperaturas foram medidas, e com o auxílio do software *Engineering Equation Solver* (EES) determinou-se as entalpias e as demais propriedades termodinâmicas dos fluidos. O maior COP obtido para o R-134a foi  $3,37 \pm 0,154$  a uma frequência de 60 Hz. Ao comparar com o R-22, cujo COP foi de  $4,23 \pm 0,154$  para as mesmas condições de operação, nota-se uma diferença de performance entre os fluidos, a qual pode ser atribuída ao menor poder calorífico do R-134a.

**Palavras-chave:** Máquina de refrigeração. *Retrofit*. R-134a. R-22. Coeficiente de performance (COP).

### 1. Introdução

Atualmente, existe uma crescente procura por sistemas de refrigeração, os quais são fundamentais no nosso cotidiano. A busca de fluidos de trabalho ideais para serem empregados nesses sistemas de refrigeração têm-se tornado um grande desafio para a indústria de refrigeração e para sociedade em geral.

Desde do Protocolo de Montreal, Kyoto e recentemente a emenda de Kigali (2016), foi determinado em médio/longo prazo a substituição dos fluidos CFCs, HCFCs, HFCs, por fluidos naturais como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), a amônia (NH<sub>3</sub>), os hidrocarbonetos (HCs). Por exemplo, no Brasil, que é um país em desenvolvimento, só poderá utilizar o R-22, que é um hidroclorofluorcarbono (HCFC) para consumo até 2040 (CALM e DOMANSKI, 2004).



# SICIT 2018

Semana de Iniciação  
Científica e Tecnológica

Universidade de Itaúna

O R-22 foi um dos primeiros fluidos refrigerantes a ter seu prazo de utilização determinado, uma vez que por ser um HCFC ainda apresenta em sua estrutura molecular o elemento cloro que é extremamente nocivo à camada de ozônio. Além disso, possui valores de GWP (*Global Warming Potential*) de 1700 e OPD (*Ozone Potential Depletion*) igual a 0,055, os quais pelas normas atuais, devem tender a zero para ser considerado um bom fluido refrigerante.

Segundo Shirvastava e Choudhari (2016), o R-22 é o fluido mais utilizado em diversas áreas de aplicações de refrigeração, o que exige pressa e demonstra a preocupação para realização do *retrofit* deste fluido no âmbito de toda a indústria de refrigeração.

Diversas pesquisas como a de Antunes *et al.* (2015) mostram a necessidade de otimizar os sistemas e buscar a substituição do R-22 por fluidos ambientalmente amigáveis, compatível com óleo mineral e com propriedades refrigerantes próximas ao do R-22, para poder evitar alterações nas instalações.

Um dos fluidos indicados para o *retrofit* do R-22 é o R-134a, que apesar de ser hidrofluorcarbono (HFC), possui ODP igual a zero e GWP menor do que o R-22 igual a 1200, e não apresenta o componente cloro na molécula responsável pela destruição da camada de ozônio (MAÍNA e HUAN, 2015).

Deshumukh e Male (2015), demonstraram em seu trabalho que o R134a é uma ótima opção para a substituição do R-22. Os resultados apresentaram valores próximos de *performance* com COPs de 3,18 e 3,08 para o R-22 e o R-134, respectivamente. Apesar de as características e propriedades termodinâmica serem um pouco diferentes, a diferença entre a eficiência do sistema não é significativa.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo realizar o *retrofit* de uma bancada de refrigeração que opera com R-22 pelo R-134a, uma vez este último fluido apresenta índice de ODP igual a 0 e um GWP relativamente menor.

## 2. Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido no laboratório de Termodinâmica e Transferência de Calor da Universidade de Itaúna. O sistema de refrigeração utilizado foi montado com os principais dispositivos térmicos, conforme observa-se na FIGURA 1. Diversos testes foram realizados obtendo-se as melhores condições de desempenho para R-22, antes de se realizar o *retrofit* com o fluido R-134a.

Devido à semelhança das propriedades termodinâmicas entre os dois fluidos, para execução do *retrofit* não foi necessário a troca de nenhum dos componentes térmicos da bancada: compressor, condensador, tubo capilar e evaporador, e nem do óleo lubrificante.

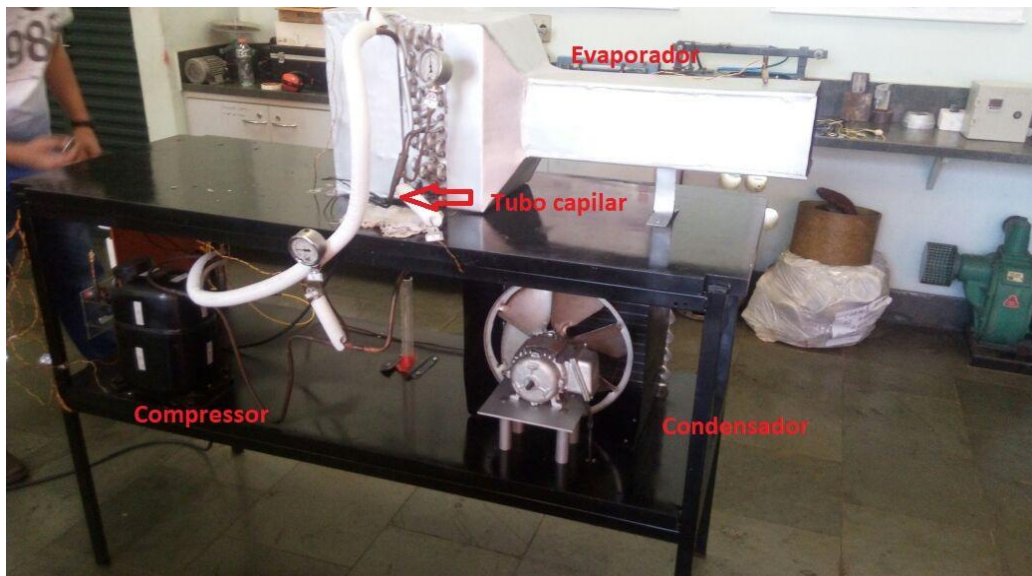


# SICIT 2018

Semana de Iniciação  
Científica e Tecnológica

Universidade de Itaúna

FIGURA 1 - Bancada de refrigeração



Fonte: Desenvolvido pelo próprio autor (2018)

Removeu-se completamente o fluido R-22 da bancada de refrigeração. Assim, realizou-se a limpeza do sistema utilizando o próprio fluido R-134a. Depois, realizou-se um vácuo na máquina para remoção da umidade.

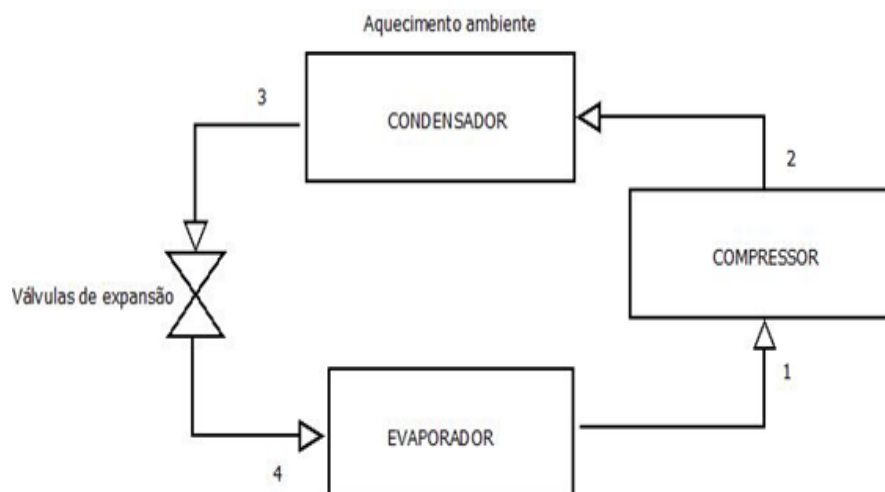
Utilizando *manifolders* injetou-se o novo fluido (R-134a) no sistema. A fim de comparação, adicionou-se a mesma quantidade de massa de R-134a com a qual o sistema estava operando anteriormente com R-22, ou seja, 610g de fluido.

Multímetros do tipo K foram instalados e utilizados para leitura das temperaturas e, manômetros para medida das pressões. As incertezas dos instrumentos de medição foram consideradas e analisadas.

Calculou-se o coeficiente de desempenho do sistema de refrigeração (COP) e plotou-se os gráficos com auxílio dos softwares CATT3 e EES (*Engineering Solver Equation*). Os pontos de medições, 1, 2, 3 e 4, considerados entrada e saídas dos dispositivos térmicos foram adotados, conforme observa-se na FIGURA 2.

Usou-se no condensador um sistema de convecção forçada, no qual era controlada a rotação do motor por um inversor de frequência localizado no painel da máquina. Com a convecção forçada foi possível aumentar a troca de calor no equipamento. Para execução dos testes empregou-se frequências de 30, 45 e 60Hz.

FIGURA 2 - Ciclo térmico de refrigeração



Fonte: Desenvolvido pelo próprio autor (2018)

### 3. Resultados e discussão

Iniciaram-se os testes verificando a ausência de possíveis vazamentos na máquina, os quais não ocorreram. Assim, executaram-se as medições em regime estacionário. Para cada ponto de medição, realizaram-se dez leituras sequenciais. Posteriormente, a média desses valores foi obtida, minimizando os erros de leitura.

Os valores aferidos para o R22 e R-134a podem ser observados no QUADRO 1 e 2, respectivamente. A temperatura ambiente para ambos os testes foi cerca de  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ . Para ambos os fluidos refrigerantes realizaram-se testes para as frequências de 60, 48 e 36Hz de rotação da hélice acoplada ao motor responsável pela convecção forçada no condensador.

TABELA 1 – Medições do R-22

R-22									
Frequência (Hz)	T1 (°C)	P1 (Mpa)	T2 (°C)	P2 (Mpa)	T3 (°C)	P3 (Mpa)	T4 (°C)	P4 (Mpa)	T saída (°C)
60	$7 \pm 1$	$0,4 \pm 0,116$	$78,3 \pm 1$	$1,616 \pm 0,145$	$31 \pm 1$	$1,534 \pm 0,145$	$-3,7 \pm 1$	$0,435 \pm 0,116$	$0 \pm 1$
48	$3,5 \pm 1$	$0,429 \pm 0,116$	$86 \pm 1$	$1,812 \pm 0,145$	$35,3 \pm 1$	$1,719 \pm 0,145$	$-2 \pm 1$	$0,459 \pm 0,116$	$2 \pm 1$
36	$0 \pm 1$	$0,474 \pm 0,116$	$88,3 \pm 1$	$2,106 \pm 0,145$	$46 \pm 1$	$2,057 \pm 0,145$	$0 \pm 1$	$0,517 \pm 0,116$	$4 \pm 1$



TABELA 2 – Medições do R-134a

R-134a									
Frequência (Hz)	T1 (°C)	P1 (Mpa)	T2 (°C)	P2 (Mpa)	T3 (°C)	P3 (Mpa)	T4 (°C)	P4 (Mpa)	T saída (°C)
60	18,6 ±1	0,26908 ±0,116	87,4 ±1	1,37626 ±0,145	35,4 ±1	1,37626 ±0,145	-1,9 ±1	0,27519 ±0,116	8,8 ±1
48	18 ±1	0,27792 ±0,116	95,1 ±1	1,47433 ±0,145	38,2 ±1	1,47433 ±0,145	-1 ±1	0,2841 ±0,116	8 ±1
36	18 ±1	0,29753 ±0,116	99,1 ±1	1,7195 ±0,145	47 ±1	1,7195 ±0,145	0,1 ±1	0,29514 ±0,116	8,9 ±1

Com o auxílio do software CATT3 os COPs (*coeficient of performance*) para cada ponto em regime estacionário foi calculado por meio da 1ª Lei da Termodinâmica, conforme observa-se na EQUAÇÃO 1. Os resultados obtidos estão apresentados no QUADRO 3.

$$\text{COP} = \frac{q_{41}}{w_{12}} = \frac{h_1 - h_4}{(h_2 - h_1)} \quad (1)$$

Em que,  $q_{41}$  (kJ/Kg) é o calor específico rejeitado pelo evaporador,  $w_{12}$  (kJ/Kg) é o trabalho específico do compressor, e “h” as entalpias específicas nos respectivos pontos apresentados.

TABELA 3 - COPs

Fluido	R-22	R-134a
Frequência (Hz)	COP	COP
60	4,63 ±0,154	3,371 ±0,154
48	3,689 ±0,108	2,818 ±0,108
36	3,15 ±0,094	2,536 ±0,094

Para a comparação do *retrofit* entre os dois fluidos refrigerantes, plotou-se os gráficos do ciclo de refrigeração para a frequência que apresentou os melhores resultados, no caso a frequência de 60Hz. Os gráficos do R-22 e R-134a de pressão versus entalpia (P<sub>x</sub>h) para a frequência de

60Hz estão apresentados nas FIGURAS 3 e 4, respectivamente.

FIGURA 3 - Gráfico P<sub>xh</sub> para 60Hz do R22

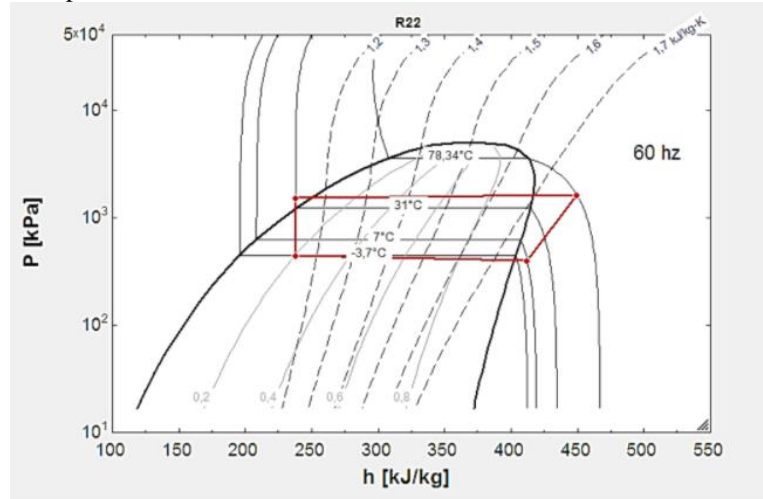
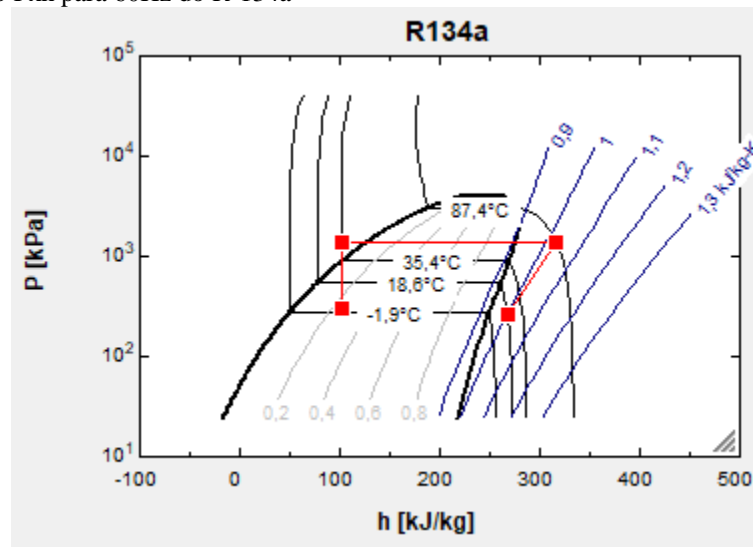


FIGURA 4 - Gráfico P<sub>xh</sub> para 60Hz do R-134a



As vazões mássicas dos dois fluido refrigerantes foram calculadas para fim de comparação. Por meio do balanço de energia no evaporador estimou-se a vazão mássica, como demonstrado pelas EQUAÇÕES 2 e 3:

$$|Q_{41}| = |Q_{ar}| \quad (2)$$

$$+m_{\text{fluido}}*(h_1 - h_4) = - m_{\text{ar}}*c_p*(T_2 - T_1) \quad (3)$$

Em que,  $c_p$  é o calor específico do ar (kJ/kg.k),  $T_2$  (°C) temperatura de saída do ar no evaporador,  $T_1$  (°C) temperatura de entrada do ar no evaporador, “h” (kJ/Kg) as entalpias nos respectivos pontos,  $m_{\text{fluido}}$  vazão mássica do fluido refrigerante em questão (kg/s), e  $m_{\text{ar}}$  vazão mássica do ar (kg/s).



A vazão mássica do ar foi calculada medindo-se a velocidade de saída do ar frio, e a área do duto de saída, como observa-se na EQUAÇÃO 4.

$$m_{\text{ar}} = v \cdot A \cdot \rho \quad (4)$$

Sendo,  $v$  (m/s) a velocidade do ar de saída, a  $A$  (m<sup>2</sup>) a área do duto de saída do ar frio, e  $\rho$  a massa específica do ar na saída.

Logo, as vazões mássicas encontradas foram de 0,0392 kg/s de R-134a, e de 0,01kg/s de R-22. Os resultados são considerados pertinentes, uma vez que a capacidade de refrigeração do R-22 é um pouco maior, necessitando assim de uma vazão mássica menor comparado com o R-134a.

Observa-se que o desempenho do R-134a é ligeiramente menor do que o R-22. Os valores obtidos para os COPs do R-134a foram menores que o do R-22 comprando-se mesmas frequências de operação. Esse fato pode ser atribuído ao maior poder calorífico do R-22 comparado com o R-134a, ou seja, esse fluido (R-22) tem uma maior capacidade de rejeitar e absorver calor. Além disso, conforme apresentado nos QUADROS 1 e 2 pode-se notar que a temperatura de saída do ar para o R-22 é menor, em torno de 0 a 4°C, comparando com os cerca de 8°C do R-134a. Como o R-22 tem maior capacidade de troca de calor, consegue resfriar o ar ambiente a uma temperatura menor.

Apesar desses valores, o R-134a é um ótimo substituto para o R-22, pois possui características semelhantes a este fluido não necessitando realizar modificações físicas no sistema de refrigeração, e também atinge temperaturas favoráveis para um sistema de refrigeração, como a geladeira de aproximadamente 8°C.

Além disso, deve-se lembrar que o R-22 deve ser abolido até 2040 devido seu alto valor de ODP e GWP. Segundo os estudos de Reis e Seidel (2015) no qual eles comparam os fluidos R-11, R-12, R-22, R-134a, R-410a e R-717, o R-134a foi o melhor fluido refrigerante indicado para substituição do R-22, uma vez que seu desempenho foi bastante similar ao R-22, possuindo as vantagens de ser menos agressivo ambientalmente e não possuir o elemento cloro em sua composição química.

#### 4. Conclusão

Os resultados obtidos na análise do *retrofit* do R-134a foram satisfatórios. Apesar da eficiência apresentada pelo R-134a ser menor em relação ao R-22, os valores não são tão significativos. Desta forma, pode-se concluir que o R-134a é um fluido de grande potencial para substituição do R-22. Além disso, é importante ressaltar que para o *retrofit* não foi necessário realizar nenhuma alteração dos componentes térmicos no sistema de refrigeração, devido à semelhança apresentada entre esses dois fluidos. Nos futuros trabalhos espera-se otimizar a máquina de refrigeração a fim de melhorar o desempenho do sistema, e realizar o *retrofit* com outros fluidos refrigerantes para novas análises de comparação.

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Programa de Apoio, Fomento e Acompanhamento de Pesquisa da Universidade de Itaúna (PAFAP) e a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

## Referências

ANTUNES, Arthur Heleno Pontes. Replacement Process of R22 in Commercial Refrigeration Systems. 2015. 148 f. **Tese (Doutorado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia**, Uberlândia, 2015.

CALM, James M.; DOMANSKI, Piotr A., “R22 Replacement status”, **ASHRAE Journal**, Vol. 46, No 8, pp. 40-45, 2004.

DESHMUKH, M. M.; MALI, K. V. Performance Comparison of R22 refrigerant with Alternative Hydrocarbon Refrigerants. **International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering**, p. 17-21, 2015.

MAINA, P.; HAUN, Z. A review of carbon dioxide as refrigeration in refrigeration technology. **South African Journal of Science**, n.111, v.9/10, 2015.

REIS, J. P.; SEIDEL, W. Simulação numérica dos fluidos refrigerantes R11, R12, R22, R134A, R410A E R717 aplicado no ciclo de refrigeração por compressão de vapor convencional. **In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, XI**, 2015. Campinas.

SHRIVASTAVA, A. P.; CHOUDHARI, C. S.; Evaluation of refrigerant R290 as a replacement to R22. **International Journal of Innovative Research in Science and Engineering**, v.2, n.3, p.739-747, 2016.