

MERCOFRIO 2014 – 9º CONGRESSO INTERNACIONAL DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM CONDICIONADOR DE AR AUTOMOTIVO COM R437a E DIFERENTES FREQUÊNCIAS DE OPERAÇÃO DO COMPRESSOR

Bruno Daniel Alves do Nascimento – bdaniel2012@bol.com.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica

Tatiana Maia Cavalcanti – tmaia_c@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica

Cleiton Rubéns Formiga Barbosa – cleiton@ufrnet.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica

Francisco de Assis Oliveira Fontes – francisfontes@uol.com.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica

Cleiton Rubéns Formiga Barbosa Júnior – cleitonformiga@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica

S1 – Sistemas de ar condicionado e aquecimento

Resumo. A redução no consumo de energia é um requisito fundamental a ser satisfeito em sistemas de refrigeração e condicionamento de ar por compressão de vapor. Este trabalho tem o objetivo de avaliar as condições de utilização do gás refrigerante R437a (alternativo para aplicações automotivas e domésticas), variando a velocidade no eletroventilador do condensador. Todos os testes foram realizados na unidade de climatização automotiva ATR600, que simula as condições térmicas do sistema e do habitáculo do veículo. O equipamento está instrumentado para aquisição dos dados de temperatura, pressões de condensação e evaporação e potência elétrica consumida, para determinação do coeficiente de performance do ciclo. O sistema foi ensaiado nas rotações de 800, 1600 e 2400 RPM com carga constante de R374a (foi realizada substituição do refrigerante original, R134a, e colocada uma carga igual, recomendada pelo fabricante). Os resultados mostram que a melhor performance do sistema ocorreram na rotação de 800 RPM.

Palavras-chave: Coeficiente de performance, R437a, refrigeração automotiva.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de ar-condicionado têm se tornado itens cada vez mais importantes, quer seja para conforto térmico, aplicações alimentícias, industriais, entre outras. Em sistemas veiculares, o conforto térmico é crucial, priorizando assim o bem estar do usuário.

Porém o conforto térmico não é o único item a ser observado nos sistemas de refrigeração veiculares. Itens de controle ambiental também são monitorados e sua influência é um fator determinante no desenvolvimento dos equipamentos HVAC automotivos. O tipo do refrigerante utilizado é de suma importância para tais estudos.

Nos dias atuais o gás refrigerante R134a (1,1,1,2-DICLORODIFLUORMETANO) está sendo largamente utilizado em sistemas veiculares e está sendo visto como alternativa também para aplicações em ar-condicionado com fins de uso doméstico. O mesmo não é inflamável e não explosivo, é um HFC que tem potencial nulo de destruição da camada de ozônio, porém possui alto efeito estufa. Possui toxicidade imperceptível comparado ao R-12. O R-134a apresenta boa miscibilidade com os óleos lubrificantes a base de Poliol Éster (POE's), eliminando riscos explosivos no sistema.

Para o estudo em questão foi utilizado um refrigerante alternativo ao R134a, comumente utilizados em sistemas HVAC automotivos, que é o R437a.

Tal refrigerante foi desenvolvido para os processos de Retrofit do R-12. Conforme dados do fabricante, é compatível com os lubrificantes utilizados em sistemas automotivos e na maioria dos casos não se necessita da modificação dos mesmos.

Abaixo podemos ver a tabela da composição R437a, conforme especificações do fabricante.

Tabela 1. Composição do ISCEON MO49 Plus (Fonte: DuPont Brasil)

Componentes	Nome Químico	Fórmula	Porcentagem em Peso
HFC-125	Pentafluoretano	CF ₃ CHF	19.5
HFC-134a	1,1,1,2-Tetrafluoretano	CF ₃ CH ₂ F	78.5
Butano	n-butano	C ₄ H ₁₀	1.4
Pentano	n-pentano	C ₅ H ₁₂	0.6

As propriedades físicas do R437 podem ser vistas na Tabela 2. Nota-se que seu potencial de destruição da camada de ozônio (ODP) e seu potencial de aquecimento global (GWP) são inferiores, quando comparados ao R-12.

Tabela 2. Propriedades físicas do ISCEON MO49 Plus (Fonte: DuPont Brasil)

Propriedade Física	Unidade	ISCEON™ MO49Plus™	R-12
Ponto de Ebulição (1atm)	°C	-29	-30
	°F	-20	-22
Vapor de Pressão a 25°C (77°F)	KPa abs	743	652
	Psia	108	95
Densidade Líquida a 25°C (77°F)	Kg/m ³	1176	1311
	Lb/ft ³	73.4	81.8
Densidade do Vapor Saturado 25°C (77°F)	Kg/m ³	37.8	37
	Lb/ft ³	2.36	2.32
Potencial de Destruição da Camada de Ozônio (ODP)	CFC-11=1.0	0	1
Potencial de Aquecimento Global (GWP)	CO2=1	1684	8500

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Analisar a performance da aplicação do refrigerante R437a em um sistema de refrigeração automotiva e comparar com a performance do mesmo quando varia-se a RPM do compressor e velocidade no eletroventilador da unidade evaporadora.

2.2. Objetivos específicos

- 1 - Avaliar influencia da variação da velocidade do eletroventilador do evaporador com o gás R437a;
- 2 - Simular através do software DUPREX o coeficiente de performance com a variação de velocidade no eletroventilador do condensador e do evaporador;

3. FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS

A variedade de fluidos de trabalho para sistemas de refrigeração baseados na compressão de vapor é muito grande. Refrigerantes como amônia e dióxido de enxofre foram de suma importância para o início dos estudos dos sistemas de refrigeração por compressão de vapor. Entretanto essas duas substâncias são tóxicas e bastante perigosas. Devido a tal fator, os gases de denominação Freon e Genatron foram utilizadas como alternativa a eles (exemplos: Freon-12 e Genatron-12, conhecidos como R12). São conhecidos como CFC's (clorofluorcarbonos) e já possuíam estabilidade à temperatura ambiente, porém se houver um escapamento para a atmosfera geram danos devastadores ao meio ambiente. Após isso foram desenvolvidos os HFC's (hidrofluorcarbonos, exemplo: R22). Esses já possuem vida média menor na atmosfera e liberam menos cloro. O R12 já foi banido em muitos países, já o R22 é usado comumente em sistemas

comerciais (BORGNAKKE e SONNTAG: 2009). Abaixo se pode ver as alternativas utilizadas hoje com relação a esses refrigerantes.

Refrigerante antigo	R-11	R-12	R-22	R-502
Refrigerante Alternativo	R-123	R-134a	R-404a	R-404a
	R-245fa	R-600a (isobutano)	R-717 (amônia)	R-717 (amônia)
		R-401a	R-744 (CO ₂)	R-744 (CO ₂)
		R-409a	R-290 (propano)	
			R-410a	
			R-407c	

Figura 01. Refrigerante alternativos aos CFC's e HCFC's (Fonte: Van Wylen)

3.1. CICLO IDEAL DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR

Diante das diversas dificuldades associadas ao ciclo reverso de Carnot, foi-se necessário verificar uma alternativa para os sistemas de refrigeração. A substituição da turbina por válvula de expansão ou tubo capilar foi de grande importância para esse processo (Çengel, 2005). Abaixo pode-se verificar esse ciclo.

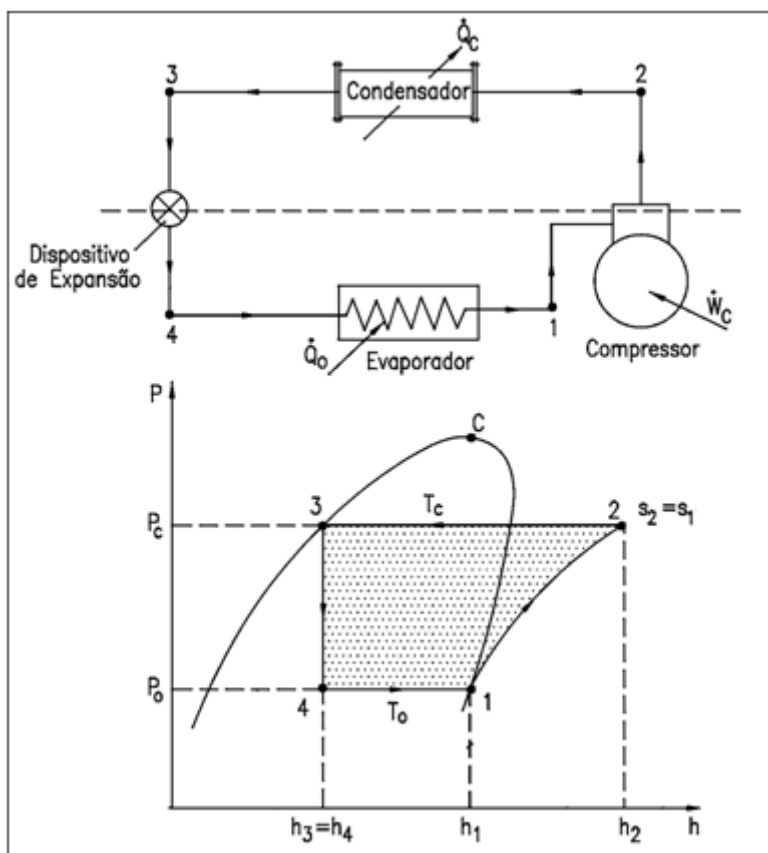


Figura 02. Ciclo ideal de refrigeração por compressão de vapor (Fonte: Apostila Refrigeração e Ar condicionado – Professor Marcelo José Pirani)

Esse ciclo consiste de quatro processos:

- 1-2: Compressão isentrópica em um compressor
- 2-3: Rejeição de calor a pressão constante em um condensador
- 3-4: Estrangulamento em um dispositivo de expansão
- 4-1: Absorção de calor a pressão constante em um evaporador

3.2. CICLO REAL DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR

É um ciclo que difere do real devido às irreversibilidades que ocorrem em seus componentes. O refrigerante sai do evaporador e entra no compressor como líquido saturado. O processo de compressão nesse ciclo envolve os efeitos descritos anteriormente, que podem aumentar ou reduzir a entropia, dependendo da direção (Çengel, 2005), podendo ser visto na figura 03.

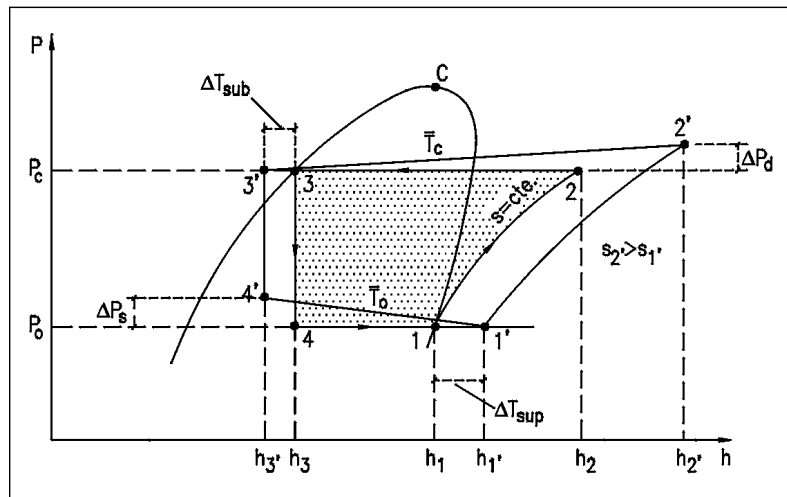


Figura 03. Diferenças entre o ciclo teórico e o ciclo real de refrigeração (Fonte: Apostila Refrigeração e Ar condicionado – Professor Marcelo José Pirani)

4. METODOLOGIA

Para o estudo em questão, foi utilizada a bancada ATR600, que simula as condições térmicas de um sistema de refrigeração automotiva.

Primeiramente foi-se retirado o refrigerante original (R134a) e substituído pelo R437a. Conforme recomendado pelo fabricante, foram seguidas as seguintes etapas:

- 1 – Remoção do R134a do sistema e colocá-lo em um cilindro de recuperação. Foi utilizada uma bomba de vácuo para realização dessa etapa;
- 2 – Realizada pesagem de quanto foi retirado (foi verificado com o fabricante da bancada a quantidade de fluido refrigerante que o sistema suportava, pois essas informações não continham no manual);
- 3 – Verificadas as condições do filtro/secador (foi mantido o original da bancada);
- 4 – Verificada existência de vazamentos, afim de não comprometer o desempenho do sistema;
- 5 – Inserção do R437a na bancada.

Os dados necessários para os cálculos do COP (temperaturas de evaporação e condensação, pressões de alta e baixa) foram extraídos através do software do equipamento. Existem sensores distribuídos em pontos que permitam a aquisição dos mesmos.

Para obtenção de dados não se fez necessária a instalação do software no computador. Bastou-se apenas realizar a cópia do aplicativo diretamente ao HD.

A conexão é realizada a partir de um cabo serial DB9, que trabalha com o protocolo de comunicação RS-232.

Na parte esquerda e superior da tela do programa de monitoramento estão localizadas as opções dos parâmetros do sistema de refrigeração que podem ser adquiridos.

A velocidade de 800 RPM corresponde à simulação do giro do motor do veículo em marcha lenta. Já a 4000 RPM corresponde a velocidade alta. Os ensaios foram realizados com rotações: 800, 1600 e 2400 RPM, cujo controle era dado pelo potenciômetro conforme figura abaixo.



Figura 04. Controle de velocidades do conjunto (Fonte: Manual do aluno – BIT9)

Os dados coletados eram inseridos em uma planilha em Excel. Com as pressões de alta e baixa, conseguia-se as temperaturas de saturação (através do software PT Calc da DuPont) e com os dados coletados na saída do evaporador e condensador, podia-se ser calculado o subresfriamento e o superaquecimento, conforme relações abaixo.

$$T_{\text{SUPERAQUECIMENTO}} = T_{\text{SAIDA EVAPORADOR}} - T_{\text{SATURAÇÃO}} \quad (1)$$

$$T_{\text{SUB-RESFRIAMENTO}} = T_{\text{SAIDA CONDENSADOR}} - T_{\text{SATURAÇÃO}} \quad (2)$$

Após aquisição de todos esses dados foi recorrido ao software Duprex 3.2 da DuPont, e encontrado o COP em todas as rotações.

5. RESULTADOS

Conforme os gráficos do coeficiente de performance, com compressor em 800, 1600 e 2400 RPM e velocidades V2 e V3 nos eletroventiladores do evaporador, a 800 RPM e velocidade V3 no evaporador foram obtidos os maiores valores de COP.

Nas figuras abaixo pode-se notar a variação do COP com relação as rotações.

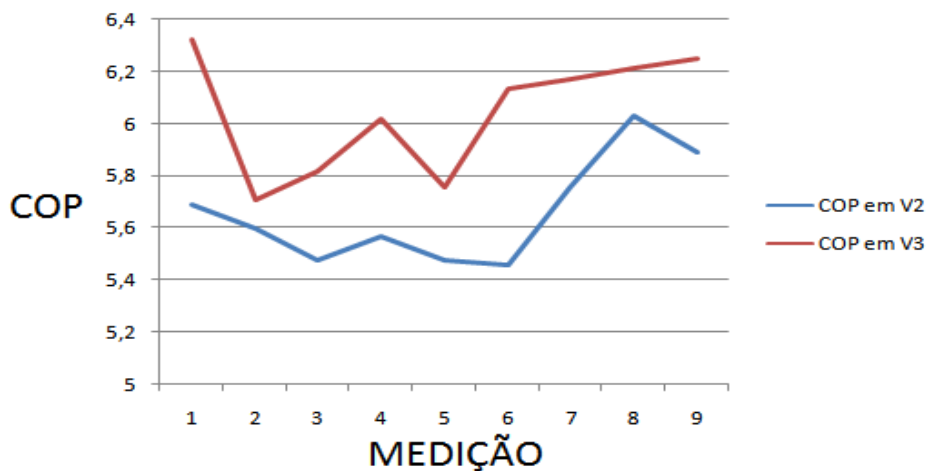


Figura 05. Variação do COP em 800 RPM nas velocidades V2 e V3 do evaporador

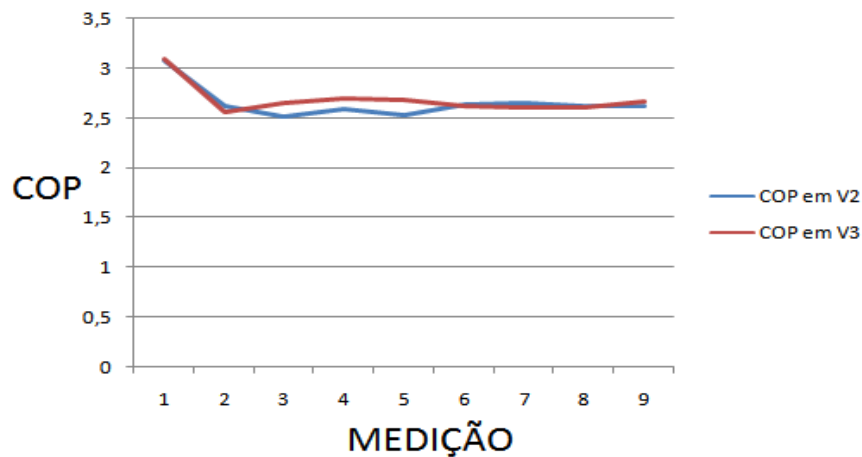


Figura 06. Variação do COP em 1600 RPM nas velocidades V2 e V3 do evaporador

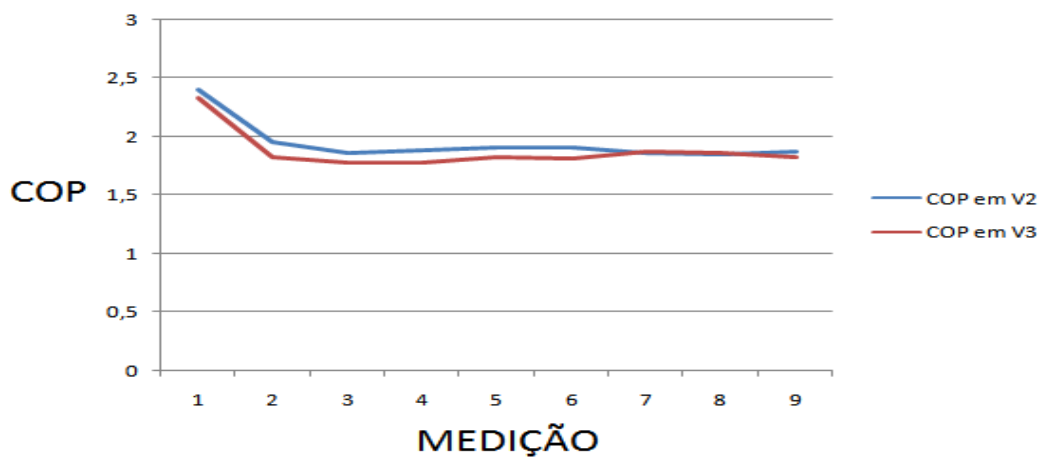


Figura 07. Variação do COP em 800 RPM nas velocidades V2 e V3 do evaporador

As temperaturas de saturação no condensador e evaporador e as pressões de alta e baixa no sistema foram os parâmetros diretos para obtenção do COP.

Na tabela abaixo se verifica a média dos COP com relação à rotação e às velocidades no evaporador.

Tabela 3. Média dos coeficientes de performance com relação às rotações

	800 RPM	1600 RPM	2400 RPM
V2	5,66	2,65	1,94
V3	6,04	2,68	1,88

Na figura 05 observa-se os maiores valores de coeficiente de performance para a rotação de 800 RPM. Entretanto, nas rotações 1600 e 2400 RPM verifica-se uma maior uniformidade nos resultados, com relação V2 e V3. Aumentando-se as rotações, o sistema mostra-se mais estável.

A tabela 04 mostra como se comportaram as pressões e temperaturas durante o processo.

Tabela 4. Comportamento das temperaturas e pressões durante o processo

RPM	Velocidade	Palta (psi)	Tsat(alta)	Tsc(oC)	Subresf	Pbaixa (psi)	Tsat(baixa)	Tsr(oC)	Superaq	COP
800	V2	191	46,8	33,5	13,3	70	17,1	20,3	3,2	5,69
	V3	194	47,4	35,8	11,6	70	17,1	20,3	3,2	6,32
1600	V2	276	61,5	47,3	14,2	43	5,3	19	13,7	2,62
	V3	273	61,1	46,4	14,7	40	3,8	18,2	14,4	2,56
2400	V2	353	72,2	53,1	19,1	30	-1,9	17,5	19,4	1,95
	V3	330	69,2	56,5	12,7	26	-4,5	17,6	22,1	1,83

6. CONCLUSÕES

Para o refrigerante analisado, sem nenhuma modificação, ou seja, conforme especificações técnicas fornecidas pelo fabricante, os resultados foram satisfatórios. Verificou-se que, com o aumento da rotação do compressor, o coeficiente de performance reduzia.

Com a estratificação mais ampla dos dados, notou-se que o melhor COP, com 800 RPM e valor de 6,32; se deu quando as tensões nos eletroventiladores do evaporador e do condensador se encontravam respectivamente com valores de 8,4 e 11,1 Vcc (correspondente à velocidade chamada V3 pelo fabricante).

Para esse estudo, fazendo a comparação com um veículo automotivo, em marcha reduzida e velocidade moderada no evaporador, pôde-se obter os melhores desempenhos com o refrigerante R437a.

7. REFERÊNCIAS

DUPONT ISCEON Série 9. “Diretrizes de Retrofit para fluidos refrigerantes DuPont ISCEON MO49Plus. Disponível em: <http://www2.dupont.com/Refrigerants/pt_BR/assets/downloads/guias_retrofit/Guia_Retroft_ISCEON_M049Plus.pdf> Acesso em 04 Abr. 2014.

ÇENGEL, YUNUS A. Termodinâmica. 5 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006. 740 p.

Manual do Aluno – Ar Condicionado Automotivo BIT9. 66p.

Departamento de Engenharia Mecânica UFPR. “Fluidos Refrigerantes”. Disponível em: <ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM182/REFRIGERACAO/apostila/15_REFRIGERANTES.pdf> Acesso em 15 Dez. 2013.

BORGNAKKE, CLAUDIUS; SONNTAG, RICHARD E. Fundamentos da TERMODINÂMICA. 7 ed. São Paulo: Blucher, 2009. 461 p.

Departamento de Engenharia Mecânica UNIFEI. “Refrigeração e ar condicionado”. Disponível em: <<http://dc721.4shared.com/doc/xzEUzYHA/preview.html>> Acesso em 21 Ago. 2014.

8. RESPONSABILIDADE AUTORMAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.