

ESTUDO EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO COM COMPRESSOR DE VELOCIDADE VARIÁVEL E VÁLVULA DE EXPANSÃO ELETRÔNICA

Taynara Geysa Silva do Lago – taynaragsl@fem.unicamp.br

Luiz Felipe Mendes de Moura – felipe@fem.unicamp.br

Kamal Abdel Radi Ismail – kamal@fem.unicamp.br

Claudia Rosa do Espírito Santo Nóbrega – claudiarosa@fem.unicamp.br

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, www.fem.unicamp.br

R2 – Componentes e Equipamentos

**Resumo.** Este trabalho apresenta os resultados de um estudo experimental em um sistema de refrigeração por compressão a vapor com uma válvula de expansão eletrônica e um compressor de velocidade variável visando economia de energia e melhora do desempenho do sistema. A bancada experimental é dotada por duas subunidades. O sistema principal é composto de unidade condensadora de ar forçado, evaporador, compressor hermético e elementos expansores (válvula de expansão termostática e válvula de expansão eletrônica), e a unidade secundária possui uma bomba para circulação do fluido secundário (álcool etílico), e um trocador de calor de acondicionamento de ar. No primeiro momento, realiza a análise e um planejamento dos dados experimentais mediante aos dados do fabricante de cada componente do sistema para identificação dos pontos ótimos de trabalho e logo em seguida identifica-se o efeito combinado da utilização do compressor de velocidade variável (CVV) e da válvula de expansão eletrônica no sistema. Na análise dos resultados experimentais, os testes mostraram que o sistema montado com compressor de velocidade variável (CVV) e válvula de expansão eletrônica (VEE) é mais eficiente do que sistemas providos com compressor de velocidade variável (CVV) e válvula de expansão termostática (VET), pois operam num ponto de máximo COP e fornecem uma capacidade de refrigeração equivalente ou próxima à demanda de carga térmica requerida.

**Palavras-chave:** Compressor de Velocidade Variável, Válvula de Expansão Eletrônica, Válvula de Expansão Termos-tática, COP, Eficiência.

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de condicionamento de ar para conforto térmico do ambiente estão cada vez mais relevantes e necessários para sociedade. Seja para controle de temperatura, distribuição de ar, umidade e pureza, para diversas aplicações como residenciais, veicular, comerciais e industriais que proporcione conforto em lugares quentes e insalubres e até o controle e tratamento de condições de ar para a indústria.

Com relação aos diversos sistemas de refrigeração existentes na atualidade, ainda é bastante empregado o sistema de refrigeração de compressão de vapor, principalmente em geladeiras domésticas, condicionador de ar residencial e centrais de refrigeração, o que se torna essencial a análise de performance dos referidos equipamentos pelo desenvolvimento do modelo termodinâmico que melhor represente os resultados obtidos experimentalmente.

O sistema de refrigeração estudado no referido trabalho possui uma válvula de expansão eletrônica que poderá promover um melhor controle do fluido refrigerante e o compressor de velocidade variável que poderá conceder uma redução percentual do consumo elétrico total do sistema de refrigeração. A variação da rotação do compressor é o parâmetro mais relevante para controlar a capacidade de refrigeração de um sistema, pois, neste caso, a capacidade de refrigeração ajusta-se à carga térmica. Além dos compressores com velocidade variável, as válvulas de expansão eletrônica são componentes ajustáveis de extrema importância nos sistemas de refrigeração. A regulação no grau de abertura deste componente de expansão afeta diretamente a vazão do refrigerante no circuito que influencia no grau de superaquecimento, além de proporcionar uma diferença de pressão entre o condensador e o evaporador.

Sistemas de refrigeração providos com compressor de velocidade variável, CVV, e válvula de expansão eletrônica, VEE, tem sido bastante estudado. (Aprea e Mastrullo, 2002) utilizaram a válvula de expansão eletrônica para uma boa adaptação da mistura R407C (R32/R125/R134a 23/25/52% em massa). Mediante um estudo de desempenho energético, compararam a utilização de válvula de expansão termostática mecânica, com uma válvula de expansão eletrônica. Lazzarin *et al.* (2009) avaliaram as possibilidades de utilização VEE e válvula de expansão termostática, VET. Um grande supermercado localizado na costa do Tirreno da Itália, não muito longe de Pisa, foi adaptado com os VEEs instalados em paralelo com as VETs para operar alternadamente com as duas tecnologias. A comparação foi feita por três climas: Milão, Roma e Trapani. A VEE mostrou economia considerável de energia.

Pottker (2006) realizou um trabalho experimental em sistema de refrigeração de compressão de vapor, que investigou a influência da rotação do compressor, da abertura da válvula de expansão e da carga refrigerante para o melhor coeficiente de performance. Os testes comparativos mostraram que sistemas montados com compressor de rotação variável e válvula de expansão eletrônica são sempre mais eficientes do que sistemas com compressor de rotação variável e

dispositivo de expansão de restrição constante e do que sistemas com compressor de rotação fixa e válvula de expansão eletrônica. Garcia (2010) realizou um trabalho usando controladores fuzzy no sistema de refrigeração por compressão de vapor, aplicando um controle fuzzy PI-adaptativo para velocidade de rotação do compressor e um controle fuzzy para válvula de expansão elétrica (VEE). Obteve com essa estratégia de controle, o melhor rendimento no desempenho relacionado com a qualidade, resposta, sensibilidade, com resultado de economia de energia de até 20%, uma vez que o sistema operava em regiões de COP elevado com ótimos coeficiente global de transferência de calor.

No presente estudo foram realizados testes experimentais para um estudo sistemático do efeito de um compressor de velocidade variável e uma válvula de expansão eletrônica sobre o desempenho do sistema de refrigeração. Foram monitorados os pontos de operação para uma melhor eficiência termodinâmica e comparado o desempenho de uma VEE em relação a VET. Os testes mostraram que o sistema montado com compressor de velocidade variável (CVV) e válvula de expansão eletrônica (VEE) são mais eficientes do que sistemas providos com CVV e válvula de expansão termostática (VET). Em condições de baixa carga térmica, o primeiro sistema apresentou uma potência consumida 7% inferior à do segundo. Em condições de alta carga térmica, o primeiro sistema apresentou uma carga térmica mais alta e eficiência total do compressor de 4,5% superior à do segundo.

## 2. BANCADA EXPERIMENTAL

A Figura 1 apresenta um esquema da bancada experimental em estudo, composta de um sistema de refrigeração por compressão de vapor que faz o uso do fluido refrigerante R-134a e um sistema de fluido secundário com condicionamento de ar que utiliza álcool etílico como fluido de trabalho.

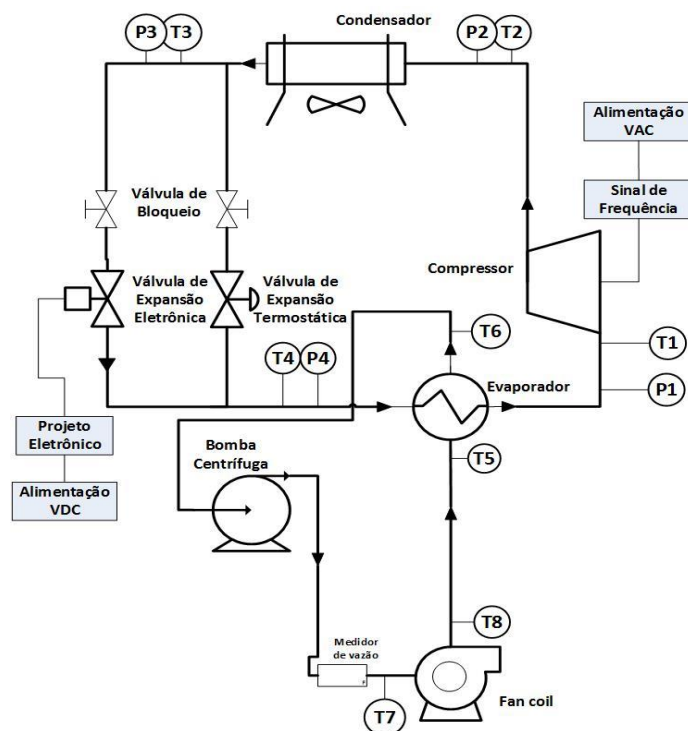


Figura 1. Esquema da Bancada Experimental

### 2.1 Sistema de refrigeração por compressão de vapor

Um sistema de refrigeração por compressão mecânica de vapor é dividido em duas partes, de acordo com a pressão exercida pelo refrigerante nestas duas partes. A parte de baixa pressão do sistema é composta pelo controle de fluxo do refrigerante, pelo evaporador e pela linha de admissão. O lado de alta pressão do sistema compõe-se do compressor, da linha de exaustão ou linha de gás quente, do condensador e da linha de líquido, conforme mostrados na Figura 2.



Figura 2. Circuito básico de refrigeração da bancada experimental

O compressor utilizado foi modelo alternativo hermético de capacidade variável da Embraco. A compressão do gás é feita numa câmara de volume variável por um pistão, com as válvulas de sucção e descarga, organizadas de forma a bombear o refrigerante. A variação da velocidade do compressor é feita por um inversor de frequência controlado por sinal de frequência externo. A faixa de frequência é de 53 a 150 Hz, e a faixa de rotação é de 1600 a 4500 rpm. O modelo do compressor de marca Embraco hermético é o VEG-Y8H, conforme ilustra a seguir a Figura 3.



Figura 3. Compressor Alternativo Hermético de capacidade variável modelo VEG-Y8H da empresa Whirlpool

O condensador da marca Elgin é um trocador de calor por resfriamento de ar forçado montado com tubos de cobre e aletas robustas que garante eficiência para rejeitar calor. Sua capacidade térmica é de 3/4 HP (559,3 W) e tubulação de 6 mm de diâmetro interno que acopla o visor de líquido a válvula de expansão.

O evaporador é um trocador de calor de tubos concêntricos de fluxo contracorrente. O tubo interno de cobre, com 1300 mm de comprimento e diâmetro de 6 mm, é onde circula o R-134a. O fluido secundário, solução de álcool etílico escoar por meio da seção anular (tubo externo) com 17 mm de diâmetro interno.

A válvula de expansão termostática é o modelo TN 2 da empresa Danfoss com o orifício 00. O funcionamento da válvula depende da pressão do evaporador e da pressão de comando do bulbo termostático. O bulbo termostático deve ser instalado na saída do evaporador, em contato térmico com a tubulação de sucção, de modo a captar continuamente a temperatura do fluido refrigerante que sai do evaporador.

A válvula de expansão eletrônica, como se observa na Figura 4, modelo E2V03, utilizada na bancada experimental foi doada pela empresa CAREL. Esta é a única válvula do mercado que atendeu a necessidade das condições do trabalho proposto, visto que a capacidade de refrigeração máxima do sistema é por volta de 700 Watts e a capacidade máxima de refrigeração da válvula é de 1,3 kW. Por meio de sensores de temperatura e de pressão na saída do evaporador, o superaquecimento real é calculado por um controlador que alimenta o atuador da válvula de expansão eletrônica. O driver da válvula eletrônica, EVD evolution, fornece ao estator um sinal de baixa tensão à válvula para girar o rotor em sentido horário ou anti-horário. O mecanismo interno converte o movimento giratório em deslocamento axial da haste



Figura 4. Válvula de Expansão Eletrônica (VEE) modelo E2V03 da empresa Carel

## 2.2 Sistema do fluido secundário de acondicionamento de ar

É um sistema de ventilação que tem velocidade variável que aumenta ou diminui o fluxo por meio do controle da velocidade do ventilador, em malha aberta, no trocador de acondicionamento do ar, e sua função é fornecer volume do ar suficiente para manter a temperatura do duto em um nível aceitável.

A bomba é do tipo monobloco com junta de vedação mecânica, tem um controle de velocidade de 0 a 3450 rpm que utiliza inversor de frequência. Ela é responsável pela circulação de solução do álcool etílico pelo evaporador retirando calor do mesmo e fornecendo capacidade térmica.

A bomba hidráulica faz com que o fluido secundário circule pela serpentina do “*fancoil*”, retirando carga térmica do ambiente. O “*fancoil*” trata-se de uma unidade tratamento de ar composto por um ventilador e um trocador de calor (serpentina solução álcool etílico - ar). O trocador de calor é do tipo gás-líquido com capacidade de 600 W com oito tubos por passo e 4 passos; com seção transversal de 270 mm de comprimento, 220 mm de altura e 140 mm de profundidade e tem um arranjo triangular acoplado a um ventilador centrifugo tipo sirocco com motor trifásico 184 W. A velocidade do “*fancoil*” é controlada por um inversor de frequência que compreende uma faixa 0 a 3450 RPM e possui capacidade máxima de 8,5 m<sup>3</sup>/min. Figura 5, mostra o “*fancoil*” da bancada experimental.

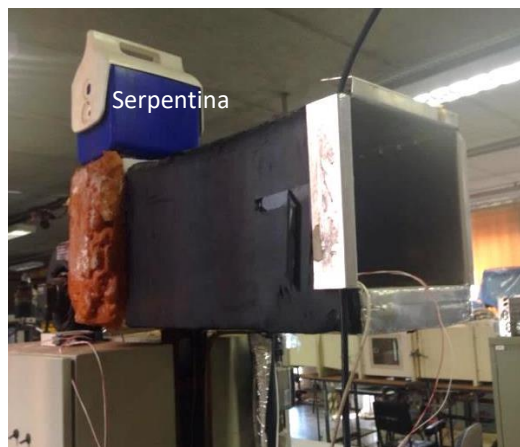


Figura 5. *Fancoil* utilizado na bancada experimental

## 2.3 Sistema de Medição, Monitoramento e de Controle

O monitoramento das condições operacionais do sistema de refrigeração é de suma importância para controlar o funcionamento do mesmo. Para a leitura das diferentes grandezas como a temperatura, pressão, vazão volumétrica foram utilizados sensores específicos. Os dados foram lidos pelo sistema de aquisição da Novus.

As medições de temperatura foram realizadas por dois termopares tipo T e oito sensores de tipo termo resistência (RTD). Todos os sensores de temperatura foram calibrados e a medição de temperatura apresentou incerteza igual a  $\pm 0,51^{\circ}\text{C}$ . Para medição de pressão foram utilizados três transdutores de pressão manométrica, sendo dois transmissores da empresa Wika e um transdutor de pressão da empresa Carel. O instrumento utilizado na bancada experimental para medição da vazão volumétrica do fluido secundário foi medidor de vazão tipo turbina da empresa Ômega, modelo da série FTB790.

Para facilitar a obtenção dos valores da eficiência total do compressor do sistema, fez-se uso de um medidor de potência consumida (Fig. 6), visto que a eficiência total do compressor de compressão é a razão entre o trabalho de compressão ideal do compressor e o trabalho real de compressão. O medidor de potência consumida utilizado foi o Power Analyser da empresa Instrutherm, modelo MPR-40. O instrumento é ligado ao compressor, e realiza-se a medição da potência consumida (W) em tempo real.



Figura 6. Medidor de Potência - Power Analyser

Há também dois inversores de frequência (Fig. 7). Um inversor de frequência para o motor da bomba do fluido refrigerante secundário, que, por sua vez, tem uma entrada analógica 0 a 10 V (cc) e controla a velocidade de rotação do motor na faixa de 0 a 3600 RPM. O segundo inversor de frequência controla a velocidade do motor do “fancoil”.

O funcionamento do compressor e variação de sua rotação depende de um sinal de onda quadrada com frequência de 53,4 a 150 Hz, enviado ao seu inversor de frequência (VCC inverter). Assim, para avaliação do comportamento do compressor no sistema de refrigeração foi utilizado um gerador de forma de onda para enviar o sinal ao inversor que alimenta o compressor. O gerador de forma de onda arbitrária da empresa Agilent Technologies, modelo 33220A (Fig. 8) utiliza técnicas diretas de síntese digital (DDS) para criar um sinal de saída estável, preciso, de baixa distorção e ondas senoidais limpas. Ele também dá ondas quadradas com rápida ascensão de até 20 MHz e ondas lineares rampa (triângulo) de até 200 kHz.



Figura 7. Painel dos inversores de frequência utilizado na bancada experimental



Figura 8. Gerador de forma de onda arbitrária da empresa Agilent Technologies, modelo 33220A

O drive utilizado na bancada para o controle da válvula é o EVD Evolution com controle PID, modelo EVD0000E50. Para o controle do superaquecimento, deve-se configurar o drive com o tipo de refrigerante, válvula, sistema e conectar duas sondas, um sensor de temperatura e outro de pressão, na saída do evaporador, já que são as variáveis de entrada para o controle. Uma ilustração do drive EVD utilizado na bancada experimental pode ser observada na Figura 9.

Para aquisição de dados (DAQ) foi utilizado equipamentos da Novus Automation. O FieldLogger é o equipamento da NOVUS que monitorou todos os transdutores de temperatura e pressão que estão no sistema, facilitando os cálculos das variáveis experimentais de trabalho. O FieldLogger (Fig. 10) é um módulo de aquisição e registro de variáveis analógicas e digitais. Tem 8 entradas analógicas universais e 8 entradas ou saídas digitais. Pode se comportar como o mestre de uma rede Modbus RTU e ler registradores de outros escravos a fim de registrá-los em memória ou disponibilizá-los nas outras interfaces. A configuração do FieldLogger é realizada mediante ao software Configurador



Figura 9. Drive EVD Evolution, modelo EVD0000E50, empresa Carel.



Figura 10. Módulo de aquisição FieldLogger, empresa Novus Automation.

## 2.4 Condições gerais para os testes

Sobre as condições gerais para execução dos testes, obedeceu a norma ISO 917, que assegura requisitos necessários para o ensaio de compressores de refrigeração. Em geral, os resultados de uma medição de qualquer grandeza física é somente uma estimativa ou uma aproximação do valor real do mensurando. Como consequência desse fato, o resultado da medição apenas é completo quando provido do valor declarado da incerteza. As incertezas experimentais das variáveis calculadas deste trabalho foram determinadas de acordo com os melhores procedimentos estatísticos com intervalo de confiança de 95%. A tabela 1 apresenta a propagação da incerteza das variáveis calculadas.

Tabela 1. Propagação de Incerteza das Variáveis

| Variáveis                            | Incerteza                                         |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Temperatura Evaporação e Condensação | $\pm 0,505$ °C                                    |
| Superaquecimento e Subresfriamento   | $\pm 0,51$ °C                                     |
| Pressões                             | $\pm 0,0042$ a $\pm 0,0202$ bar                   |
| Vazão R-134a                         | $1,40 \times 10^{-4}$ a $3,4 \times 10^{-4}$ kg/s |
| COP                                  | $\pm 0,05$ a $0,008$                              |
| Carga Térmica                        | $\pm 11,76$ a $27,46$ W                           |
| Eficiência                           | $\pm 1,02$ a $1,88$ %                             |
| Potência de compressão               | $\pm 0,88$ a $2,94$ W                             |

Optou-se pela verificação das pressões do sistema ao longo do tempo para caracterizar o regime permanente do sistema, pois as pressões de sucção e descarga influenciam diretamente todas as demais variáveis dependentes, como o grau de superaquecimento na saída do evaporador, a capacidade de refrigeração, a pressão na entrada da válvula de expansão, etc. Como pode-se verificar no gráfico da Figura 11, o comportamento da potência elétrica acompanha o da pressão de descarga. Então, quando o critério de regime permanente é satisfeito para as pressões de sucção e descarga, considera-se que todas as demais variáveis dependentes estejam também estabilizadas no intervalo de tempo escolhido.

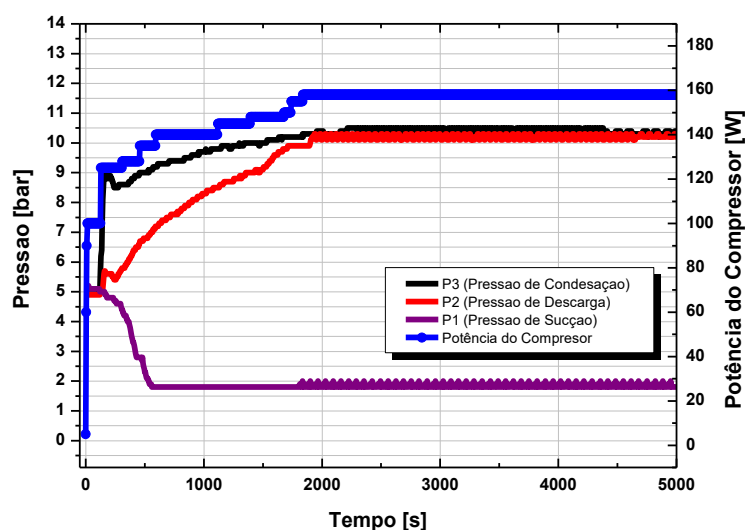


Figura 11. Análise do regime permanente das pressões do sistema e potência do compressor ao longo do tempo.

## 2.5 Eficiência e Rendimento do Ciclo

Como a própria sigla sugere, COP (coeficiente de desempenho) é o termo utilizado como sinônimo de eficiência do ciclo termodinâmico de refrigeração, no sentido de desempenho do mesmo.

O conceito de desempenho está intrinsecamente ligado à uma otimização de processo, ou seja, a relação entre a energia útil e o dispêndio de energia para obtenção da mesma durante a realização deste processo, que especificamente no caso de refrigeração, associa a capacidade de refrigeração à potência de compressão assumida, conforme demonstrado analiticamente pela equação 1.

$$COP = \frac{Q_E}{W_c} \quad (1)$$

Então, conhecendo as pressões e as temperaturas do fluido refrigerante na entrada e saída do evaporador, assim como a temperatura de entrada e saída do compressor, o coeficiente de desempenho, para o ciclo teórico e real, pode ser definido em função das entalpias, conforme a equação 2.

$$COP_{teorico} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2)$$

Para determinação do COP no presente trabalho, fez-se uso da equação 3, razão entre a capacidade de refrigeração obtida no evaporador e a potência consumida pelo compressor.

$$COP_{real} = \frac{\dot{m}_{R134a} \Delta h_{evap}}{W_{c,real}} \quad (3)$$

Onde:

$\dot{m}_{R134a} \Delta h_{evap}$  é capacidade de refrigeração

$W_{c,real}$  é a potência consumida pelo compressor

A eficiência total do compressor é a variável utilizada para a determinação do desempenho do compressor. A razão entre o trabalho ideal de compressão e o trabalho real de compressão é definida como eficiência total de compressão, como se demonstra a equação 4.

$$\eta_c = \frac{W_c}{W_{c,real}} \quad \text{ou} \quad \eta_c = \frac{\dot{m}_{R134a} \Delta h_{compr}}{W_{c,real}} \quad (4)$$

Onde:

$\eta_c$  é eficiência total de compressão

$\dot{m}_{R134a} \Delta h_{compr}$  é a potência de compressão

$W_{c,real}$  é a potência consumida pelo compressor

A potência real de compressão pode ser encontrada por três maneiras distintas: a potência elétrica nominal (dada pelo fabricante do compressor), a potência mecânica do eixo de rotação e a potência elétrica real (medida por instrumentos). No presente trabalho, adotou-se a potência elétrica real, para as análises de eficiência energética do compressor.

Nesse contexto, é importante frisar que as entalpias do fluido refrigerante foram obtidas de forma indireta, mediante a medição das temperaturas e pressões do ciclo em estudo. Desse modo, foi possível à determinação das entalpias com a inserção de dados de temperatura e pressão, obtidos pelo Field Logger, no programa CATT3 (Computer Aided Thermodynamic Table3).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As VETs são dispositivos de expansão mais difundidos no comercialmente, mas eles têm algumas características que podem limitar a versatilidade e desempenho das máquinas. Por exemplo, está válvula requer uma queda mínima de pressão entre a evaporação e a condensação, as VEEs não precisam de uma queda mínima de pressão para um funcionamento estável, oferecendo assim vantagens significativas em sistemas de condensação a ar quando se encontram em situações de baixa temperatura ambiente, propiciando a operação com menores temperaturas de condensação incrementando o COP.

Para efeito de comparação entre a VEE e VET no sistema em análise, será dada ênfase no COP, grau de superaquecimento, eficiência e potência consumida em função da rotação do compressor.

Na Figura 12, é mostrada a comparação entre os coeficientes de desempenho real com a válvula de expansão eletrônica e com a válvula de expansão termostática em relação a rotação do compressor. No gráfico, o COP com a VET alternou na faixa de 3,5 a 3,75 enquanto o COP com a VEE variou na faixa de 3,6 a 4,4 para as rotações desenvolvidas com suas requeridas cargas térmicas. Nota-se que a utilização da válvula de expansão eletrônica melhora o coeficiente de desempenho em relação ao sistema de refrigeração por compressão a vapor provido com válvula termostática,

visto que o COP está intimamente dependente das pressões de evaporação e de condensação, uma vez que, fazendo-se uso da válvula de expansão eletrônica, há a redução da temperatura de condensação para todas as faixas de rotações trabalhadas no compressor, diminuindo assim o trabalho de compressão, ocasionando um aumento da eficiência de refrigeração e aumento do COP.

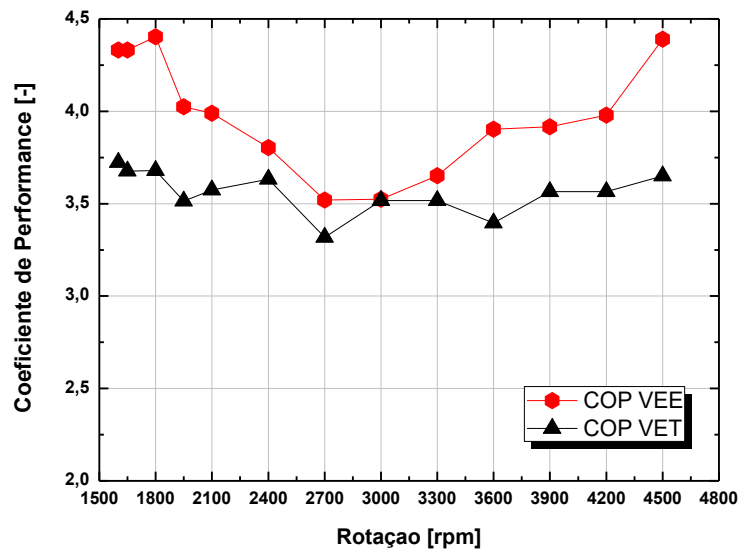


Figura 12. Análise comparativa do COP real do sistema com a VET e a VEE em função da frequência de operação do compressor

Na Figura 13, observa-se o comportamento do superaquecimento do sistema com a válvula de expansão eletrônica e a válvula expansão termostática em função da operação do compressor. O orifício da válvula de expansão termostática foi escolhido pela classificação da capacidade do sistema. Esta classificação é baseada na temperatura de evaporação e de condensação. O valor do superaquecimento estático da válvula já vem ajustado de fábrica, que pode ser também ajustado manualmente. O valor de set-point definido pelo fabricante é 7 K com MOP e 5K sem MOP. A válvula de expansão termostática apresentou valores experimentais do superaquecimento na faixa de 10,7 a 12,96 K, valores superiores do set point do fabricante. Esses foram os melhores valores obtidos de superaquecimento com a válvula de expansão termostática, pois fixando um superaquecimento de forma manual o ponto MOP mudará, a válvula atenderia apenas uma certa carga térmica e abrindo mais a válvula o valor do superaquecimento é muito baixo ocasionando golpe de líquido no compressor. Já a válvula de expansão eletrônica com ação do controlador EVD, mantém o grau de superaquecimento em torno de 8,0 K, o que seria ideal para o sistema estudado, visto que se o superaquecimento for muito baixo, pode ocorrer um retorno de líquido para o compressor e assim danificá-lo. No entanto, não pode ser muito alto porque isso reduziria significativamente o COP. Assim, com a utilização da válvula de expansão eletrônica o superaquecimento é o mais baixo possível e mais estável, como pode ser verificado no gráfico, o grau de superaquecimento da válvula de expansão eletrônica fica em volta de 8,0 K, e o grau de superaquecimento da válvula termostática é bastante instável e superior para todas as faixas de rotação do compressor.

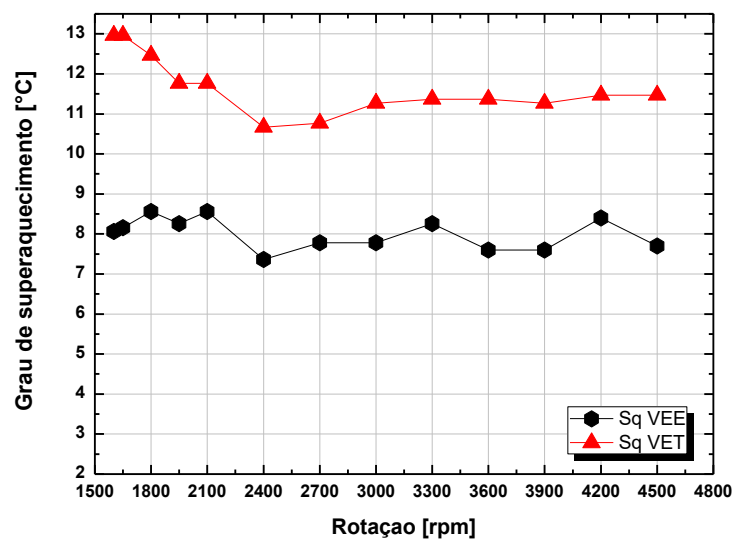


Figura 13. Análise comparativa do superaquecimento do sistema com a VET e a VEE em função da rotação de operação do compressor

A redução da temperatura de condensação aumenta a eficiência de refrigeração, visto que diminui a taxa de compressão e reduz o consumo de potência, isso é uma das vantagens da VEE, além disso ela opera com valores de superaquecimento menores aos comumente utilizados com VETs, permitindo assim um maior aproveitamento da superfície do evaporador e consequentemente aumentando a eficiência total do sistema. Figura 14 apresenta a eficiência total do compressor desenvolvida em função da variação da rotação das duas válvulas. Com a VET, o sistema obteve uma eficiência total do compressor na faixa de 71,3% a 81,5% e com a VEE possui uma faixa de eficiência total do compressor compreendida entre 73,6% a 85,12%. Ambas com bons resultados de eficiência, e a VEE com uma leve vantagem em virtude da potência consumida e potência compressão da mesma se aproximaram e aumentaram concomitante com a rotação do compressor e a carga térmica. Em condições de baixa carga térmica, o sistema com a VEE apresentou uma eficiência 6,5% superior à do sistema com VET. Em condições de alta carga térmica, o sistema com VEE tem uma eficiência total do compressor de 4,5% superior à do sistema com a VET. Na Figura 15 é possível visualizar a potência consumida do sistema utilizando os dois dispositivos de expansão e para baixa carga térmica, o sistema com VEE apresentou uma potência consumida 7% inferior com VET e para alta carga térmica uma potência consumida 4% inferior. Há, portanto um potencial de redução de energia com VEE e CVV.

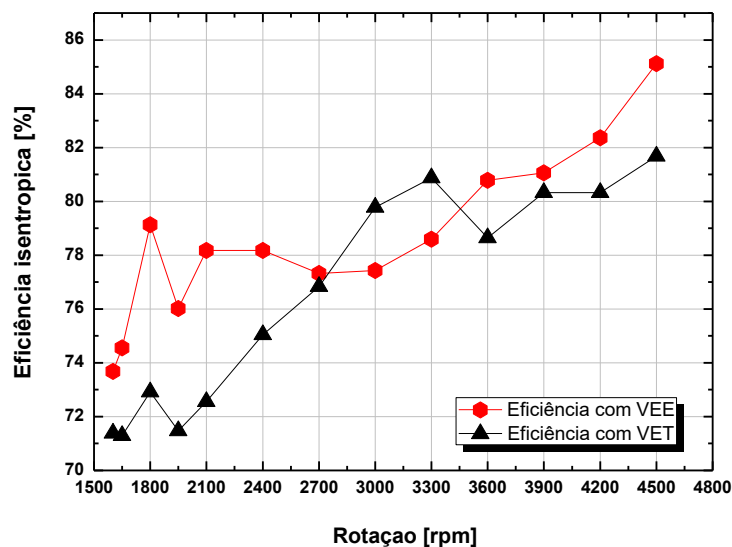


Figura 14. Análise comparativa da eficiência total do compressor do sistema com a VET e a VEE em função da rotação de operação do compressor

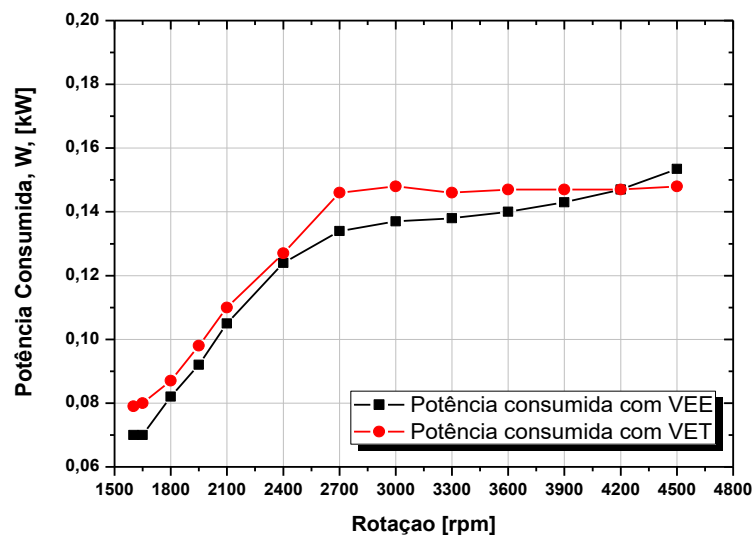


Figura 15. Análise comparativa da potência consumida do compressor do sistema com a VET e a VEE em função da rotação de operação do compressor

#### 4 CONCLUSÃO

Os dispositivos de expansão variáveis, tais como as válvulas de expansão eletrônica tem um papel fundamental no quesito eficiência energética e aplicações com compressores de velocidade variável. Assim, o rendimento do sistema com dispositivos convencionais e eletrônicos permitem o estudo com novas alternativas na utilização de refrigerantes.

Sistemas com válvulas de expansão eletrônica e compressor de velocidade variável são mais eficientes, pois operam num ponto de máximo COP e fornecem uma capacidade de refrigeração equivalente ou próxima à demanda de carga térmica requerida.

A utilização da válvula de expansão eletrônica ocasiona uma redução da pressão de condensação em todas as faixas de operação do compressor no sistema, em relação ao uso de uma válvula de expansão termostática (VET). Além do mais, a válvula de expansão eletrônica (VEE) possui reações rápidas em relação as variações de capacidade, facilitando a estabilização instantânea do sistema

Com a válvula de expansão eletrônica o superaquecimento é o mais baixo possível e mais estável. Ela opera com valores de superaquecimento menores aos comumente utilizados com as válvulas de expansão termostáticas (VETs), permitindo assim um maior aproveitamento da superfície do evaporador e consequentemente aumentando a eficiência total do sistema.

#### 5 AUTORIZAÇÕES / RECONHECIMENTO

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluso neste artigo.

#### Agradecimentos

O primeiro autor agradece à CAPES pela bolsa de estudo, à Carel pela doação da Válvula de Expansão Eletrônica e à Novus Automation pelo sistema de Aquisição de Dados, o quarto autor agradece à FAPEMA pela bolsa de estudo.

#### 6 REFERÊNCIAS

- Apréa, C., Mastrullo, R., 2002. Experimental Evaluation of Electronic and Thermostatic Expansion Valves Performances using R22 and R407C. *Applied Thermal Engineering* 22:205-218.
- Garcia, F. E. M., 2010. *Avaliação teórico - Experimental de técnicas de Controle fuzzy aplicadas a sistemas de refrigeração*. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Uberlândia.
- Lago, T.G.S., 2016. *Estudo Experimental e Controle de um Sistema de Refrigeração com Compressor de Velocidade Variável e Válvula de Expansão Eletrônica*. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas.
- Lazzarin, R. and M. Noro, 2009. Experimental comparison of electronic and thermostatic expansion valves performances in an air-conditioning plant. *International Journal of Refrigeration* 31(1):113-118.
- Pottker, G., 2006. *Análise do efeito combinado de compressores e expansores de ação variável sobre o desempenho de sistemas de refrigeração*. Dissertação (Mestrado). Universidade federal de Santa Catarina.

#### ESTUDO EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO COM COMPRESSOR DE VELOCIDADE VARIÁVEL E VÁLVULA DE EXPANSÃO ELETRÔNICA

**Abstract.** This paper presents the results of an experimental study in a vapor compression refrigeration system with an electronic expansion valve and variable speed compressor aimed at energy saving and improved system performance. The test rig is equipped with two subunits. The main system is composed of condenser unit forced air evaporator hermetic compressor and expander elements (thermostatic expansion valve and the electronic expansion valve), and the secondary unit has a pump for circulating the secondary fluid (ethyl alcohol), and exchanger air conditioning heat. At the moment first performs the analysis and planning of the experimental data by the data from the manufacturer of each component system to identify the optimal points of work and then immediately identifies the combined effect of using speed compressor variable (CVV) and the electronic expansion valve in the system. In the analysis of the experimental results, the tests showed that the system fitted with a variable speed compressor (CVV) and the electronic expansion valve (VEE) is more efficient than provided systems with variable speed compressor (CVV) and thermostatic expansion valve (VET), for operating a point of maximum COP and provide a cooling capacity equivalent or close to the demand required thermal load.

**Key words:** Variable Speed Compressor, Valve Electronic Expansion, Thermostatic expansion valve, COP, Efficiency.