



ESTUDO EXPERIMENTAL DE UM REFRIGERADOR DOMÉSTICO FUNCIONANDO COM VENTILAÇÃO FORÇADA DO CONDENSADOR

Anderson Breno Souza, anderson.souza@ufob.edu.br¹
José de Castro Silva, castro.silva@univasf.edu.br²
Miguel Ângelo de Oliveira Shaw, eng.miguel.shaw@gmail.com¹
Filipi Marques de Souza, filipi.souza@ufob.edu.br¹
Rafael Pereira da Cruz, rafaelpereira.2013@hotmail.com¹

¹ Universidade Federal do Oeste da Bahia, Av. Manoel Novais, 1064, Centro CEP: 47600-000 Bom Jesus da Lapa, BA
Telefone: (77) 3481-9700.

² Universidade Federal do Vale do São Francisco, Av. Antônio C. Magalhães, 510 - Country Club, Juazeiro - BA,
48902-300, Telefone: (74) 2102-7609.

Resumo. Diante da necessidade de redução do consumo de energia elétrica e de aumento da eficiência dos equipamentos, conhecer como estes se comportam frente a variações de seus parâmetros de funcionamento, pode trazer benefícios frente a esta tónica. Assim, este estudo consistiu em avaliar o funcionamento de um refrigerador doméstico funcionando com ventiladores axiais sob seu condensador forçando uma convecção de maneira a compará-lo com o funcionamento na ausência dos ventiladores. Para tal finalidade, foram coletados dados como a corrente, potência consumida, temperaturas internas, pressões de trabalho e as temperaturas relacionadas com o desempenho termodinâmico do ciclo para um refrigerador doméstico. Os testes foram realizados até que a temperatura média interna do compartimento de frios do refrigerador atingisse 7°C para ambos os casos. A comparação entre os dois casos evidenciaram que com a aplicação dos ventiladores o tempo para atingir a temperatura de 7°C foi 13,47% menor, a potência média consumida foi 4,69% menor, a queda de temperatura do fluido refrigerante ao passar pelo condensador foi 21,16% maior e o COP médio do refrigerador foi 11,43% maior.

Palavras chave: Condensadores, Ventilação forçada de condensadores, Desempenho de refrigeradores domésticos, COP.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de armazenar alimentos e manter a água em temperatura ótima para o consumo é um aspecto fundamental na evolução. Com o objetivo de suprir estas necessidades o homem criou mecanismos que possibilitasse o controle do “frio”, levando ao surgimento dos sistemas de refrigeração por compressão mecânica de vapor (Pizarro, 2007).

Na atualidade, o conceito de sustentabilidade é um ponto importante no desenvolvimento de novas tecnologias, com isso, presencia-se uma busca constante por meios de sobrevivência mais sustentáveis. A fim de garantir melhorias dos ciclos de compressão de vapor, um dos caminhos mais procurados atualmente é o aumento da eficiência dos produtos já existentes, a partir de modificações e a implementação de inovações com o intuito de reduzir seus consumos de recursos naturais (Joffily, 2007). De acordo com Taveira (2008), um produto que apresente substancialmente um aumento na sua eficiência, terá também maior vida útil além de possibilitar economia dos gastos por parte do consumidor.

Giuliani (2013) realizou estudo teórico e experimental e verificou as perdas de eficiência e os impactos ambientais gerados em compressores de refrigeradores domésticos degradados após longos períodos de uso, analisando um aparelho que funcionou 15 anos, de consumo médio de 10 mil kWh e emissão de 800 kg de dióxido de carbono, caso este aparelho não sofresse degradação em seu compressor os dados apresentados mudariam para 4500 kWh de consumo e 337 kg de dióxido de carbono. Já Souza e Padilha (2011), desenvolveram um sistema de reaproveitamento energético no condensador de um resfriador doméstico a partir do escoamento de água, que é aquecida e então armazenada.

Diante do apresentado este estudo tem por objetivo, avaliar o desempenho de funcionamento de um resfriador doméstico operando sob duas condições distintas: com a inserção de motoventiladores axiais no seu condensador e na ausência destes ventiladores, com intuito de realizar um comparativo entre estas duas situações, tornado possível a determinação do desempenho termodinâmico para ambas situações.

2. METODOLOGIA

O primeiro passo para a realização do estudo, consistiu na escolha do refrigerador doméstico a ser utilizado. Com o intuito de se obter uma maior adequação dos ventiladores a serem inseridos no condensador do refrigerador, escolheu-se um resfriador de convecção natural, uma vez que estes equipamentos possuem um menor condensador quando comparados a outros modelos. A geladeira escolhida é da fabricante Esmaltec AS, modelo ER 340, com volumes de 241 litros e 60 litros para o refrigerador e para o congelador respectivamente.

Após definido o modelo do refrigerador, foi necessário inserir nas linhas de sucção e descarga os manômetros para a medição das pressões de trabalho de alta e baixa do equipamento, objetivando determinar o coeficiente de performance (COP) do sistema. Assim, se fez uso de uma válvula do tipo *Shrader*, uma junção do tipo “T” de $\frac{3}{4}$ ” que foram soldadas na saída e na entrada do compressor do refrigerador, utilizou-se também um conjunto de manômetros que foram acoplados após a realização da soldagem dos dispositivos. Neste processo, a carga de gás existente na geladeira foi descartada para o ambiente, sendo necessário, portanto restabelecê-la, logo, adicionou-se 74 g de refrigerante R-134a (utilizados conforme especificado pelo fabricante). Nesta etapa os seguintes equipamentos auxiliares foram utilizados além dos já citados:

1 – Balança *Digital Scale* – Utilizada para quantificar a carga de gás.

2 – Bomba de vácuo *Suryha* – Utilizada antes da inserção do fluido refrigerante.

Para que a análise do ciclo termodinâmico do refrigerador em funcionamento bem como do seu desempenho com o tempo pudesse ser realizada, utilizou-se um termômetro digital portátil do tipo *datalogger* INSTRUTHERM TH-096, um medidor de potência e consumo *HIKING* DDS238-2 SW e um termômetro digital de coleta manual *FullGauge* PENTA.

A utilização do termômetro *datalogger* possui a finalidade de se obter as temperaturas externas da geladeira referentes ao desempenho termodinâmico do ciclo desenvolvido pela mesma. Este termômetro é caracterizado por possuir quatro termopares do tipo “K” e, suas instalações se deu conforme a seguinte ordem:

Termopar 1 – Posicionado na linha de líquido (No filtro secador);

Termopar 2 – Posicionado na linha de sucção, pouco antes do compressor;

Termopar 3 – Posicionado na descarga do compressor.

A coleta de dados foi realizada para dois casos distintos: O primeiro caso para a geladeira funcionando normalmente e o segundo caso para a geladeira funcionando com oito motoventiladores inseridos em seu condensador promovendo uma convecção forçada com o intuito de proporcionar seu arrefecimento.

Os motoventiladores utilizados, trabalham sob tensão de 12 V e corrente de 0,15A, modelo AD0812MB-A76GL da DDA. Para que as especificações fossem satisfeitas foram utilizadas duas fontes de tensão selecionável cada um com capacidade de corrente máxima de 1000 mA. A instalação dos motoventiladores foi realizada de maneira que o ar quente fosse descartado ao ambiente frontal ao condensador. A escolha da quantidade de motoventiladores e o seu arranjo foi realizada com o intuito de que estes ocupassem de maneira simétrica toda a extensão do condensador.

As temperaturas referentes ao interior do refrigerador doméstico e a temperatura externa, foram coletadas de forma manual com a utilização do termômetro. Este por sua vez possui cinco termopares do tipo “J”, sendo:

Termopar 1 – Posicionado no compartimento de refrigerado, pouco acima da gaveta de frios;

Termopar 2 – Posicionado no compartimento de refrigerados pouco acima do termopar 1, também capando a temperatura deste compartimento;

Termopar 3 – Posicionado no centro do congelador para coleta da temperatura ambiente deste compartimento;

Termopar 4 – Posicionado na parede do congelador no ponto mais próximo possível a saída do dispositivo de expansão para coletar sua temperatura;

Termopar 5 – Posicionado externamente ao refrigerador para coleta da temperatura ambiente da sala onde foram realizados os experimentos.

A coleta dos dados foi efetuada de minuto a minuto até que a temperatura média do ambiente interno do compartimento de frios da geladeira alcançasse 7°C. Quatro coletas para os casos com e sem ventilação foram realizadas, posteriormente os dados obtidos foram comparados e tratados a fim de calcular as médias destes para cada minuto.

De posse das médias das pressões de trabalho, as temperaturas de evaporação e de condensação do sistema foram determinadas com a utilização do aplicativo para Android “*Refrigerant Slider*” da *Danfoss*. Com isso foram determinados o superaquecimento e o subresfriamento para cada minuto. O COP, foi determinado partindo de simplificações semelhante ao que ocorreu no estudo de Ferreira e Alves (2010), desprezando as quedas de pressão nos trocadores de calor, e, a fim de garantir maiores simplificações, considerou-se a eficiência Isentrópica como sendo igual a unidade. O cálculo do COP propriamente dito foi efetuado através do *software Cool Pack 1.5* da IPU para cada minuto, onde os dados de entradas utilizados foram: temperatura de evaporação, temperatura de condensação, superaquecimento e subresfriamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média do ambiente local foi de 27,82 °C e de 28,01°C para os casos sem e com ventiladores respectivamente, enquanto que o tempo foi de 289 minutos com ventiladores e 334 sem a presença destes. Observa-se, portanto, uma variação de -12,47% mais rápido para o caso com ventilação.

Quanto as pressões manométricas de trabalho, avaliou-se a pressão de alta e a pressão de baixa que se referem respectivamente à pressão de descarga e à pressão de sucção do compressor. O comportamento médio no decorrer do experimento para ambas pressões, se deu conforme os gráficos das Fig. 1 e 2 a seguir.

Figura 1: Pressão de descarga para ambos os casos

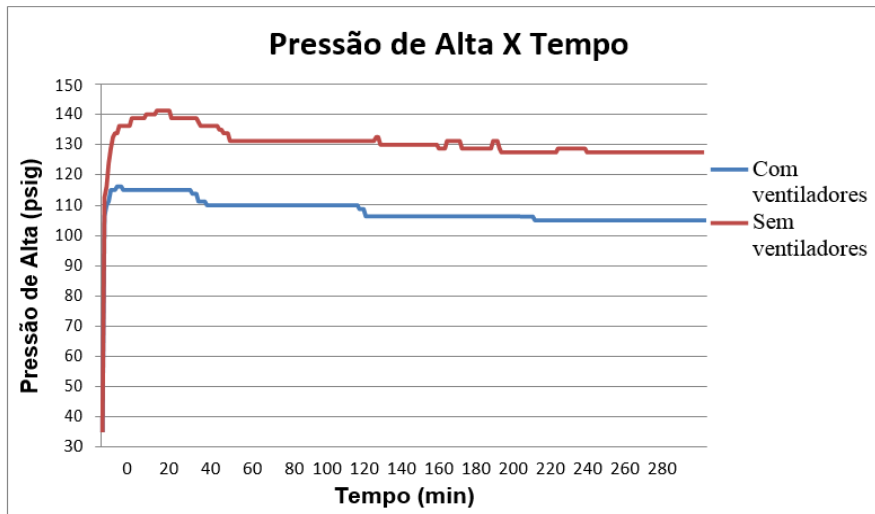
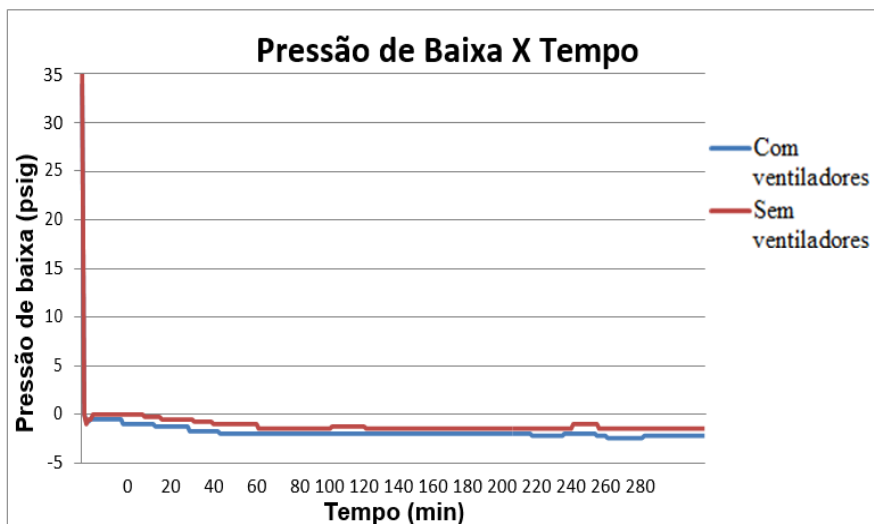


Figura 2: Pressão de sucção para ambos os casos



Da Fig. 1, observa-se que as pressões se distinguem e o caso com ventiladores resulta em uma pressão de descarga menor para o sistema ao longo do tempo. Isso se deve em decorrência do arrefecimento mais eficiente do condensador, tem-se um valor médio da pressão de descarga de 108,24 psig na presença dos ventiladores e 130,4 psig na ausência destes, resultando em uma variação de -17,0% com ventiladores. Se tratando da Fig. 2, observa-se que no decorrer do experimento as pressões decaem, sendo que para o caso sem ventilação do condensador ela permanece ligeiramente mais elevada durante o teste. Os valores médios obtidos da pressão de sucção para os casos com e sem ventilação foram de -1,85 psig e -1,20 psig, respectivamente, resultando em uma variação de -54,16% em relação ao caso com os ventiladores.

Outros dados que são conclusivos para o estudo são a potência consumida e a corrente elétrica. O valor médio obtido para a corrente foi de 1,045 A com ventiladores e 1,054 A sem os mesmos, verificando uma variação de -0,85% para o caso com ventiladores, já potência média foi de 62,31 W com ventiladores e 65,56 W sem ventiladores, obtendo uma variação de -4,69% em relação ao caso com ventilação. Assim, na presença de ventilação no condensador, a potência consumida é menor em relação ao caso sem os ventiladores, este fator em conjunto com o tempo até que a temperatura final determinada para compartimento de frios do refrigerador é determinante para o consumo elétrico total do sistema.

Os comportamentos térmicos, elétricos e termodinâmicos do refrigerador foram avaliados até que esta temperatura atingisse 7°C. A maneira como se apresentou esta temperatura em função do tempo de teste é observado na Fig. 3 para ambos os casos. Observa-se que para com ventiladores houve um menor tempo até que a temperatura de 7°C do ambiente de refrigerados fosse atingida. Quanto ao comportamento das curvas, percebe-se que ambas são iguais até o minuto 40, após isso, verifica-se uma queda maior da temperatura com a ventilação, responsável pelo menor tempo transcorrido.

As temperaturas referentes ao ambiente do congelador do refrigerador e também a temperatura de sua parede na região identificada como sendo à saída do dispositivo de expansão do sistema são indicadas nas Fig. 4 e 5.

Figura 3: Comportamento da temperatura ambiente do compartimento de refrigerados no tempo

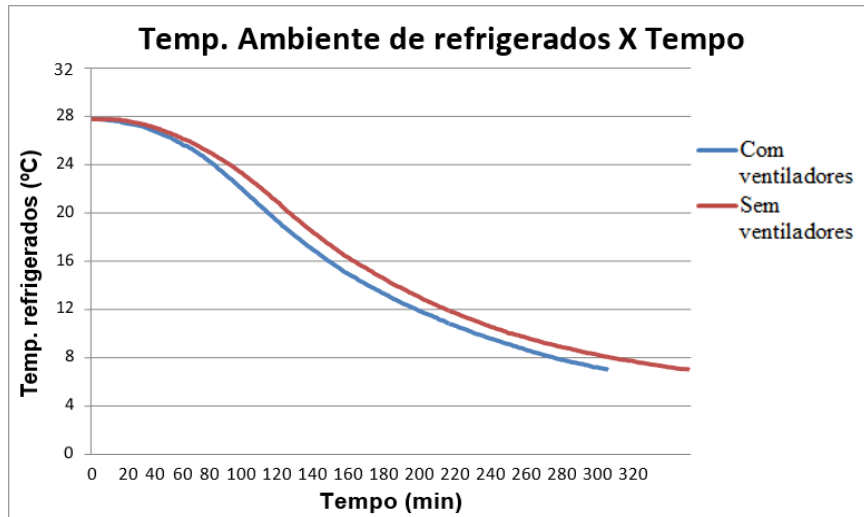


Figura 4: Comportamento da temperatura ambiente do congelador para ambos os casos

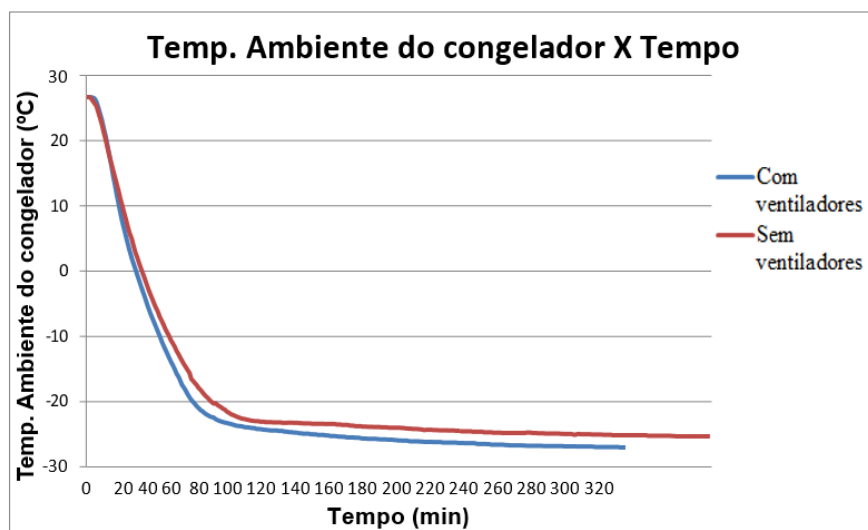
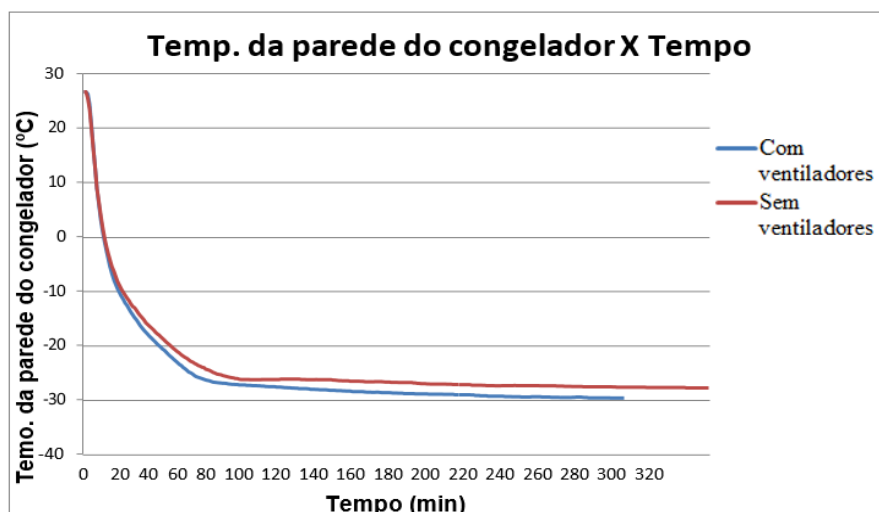


Figura 5: Comportamento da temperatura ambiente na parede do congelador para as duas situações



A Fig. 4, mostra que o comportamento da temperatura ambiente foi semelhante até os 17 minutos para as duas situações. Após este período, quando há ventiladores ela decai mais rápido. No minuto 289, quando o teste com ventilação forçada do condensador atingiu a temperatura final (7°C) a temperatura ambiente do congelador para este caso era $1,77^{\circ}\text{C}$ justificando maior velocidade no alcance do ponto de fim do teste. Verificou-se uma menor temperatura para o caso com ventiladores de $-27,15^{\circ}\text{C}$ e sem ventiladores de $-25,38^{\circ}\text{C}$ (variação de 6,97%). Para a temperatura ambiente no tempo de 289 minutos tem-se $-27,15^{\circ}\text{C}$ com ventiladores e $-25,25^{\circ}\text{C}$ sem, correspondendo a uma variação de -7,52%.

Da Fig. 5, tem-se que a temperatura da parede no minuto 289 foi $1,85^{\circ}\text{C}$ menor com ventiladores. A menor temperatura da parede do congelador foi de $-29,58^{\circ}\text{C}$ com ventiladores e $-27,72^{\circ}\text{C}$ na ausência destes correspondendo a uma variação de -6,71%. Para a temperatura da parede obteve-se $-29,58^{\circ}\text{C}$ com a ventilação forçada e $-27,63^{\circ}\text{C}$ sem, correspondendo a uma variação de -7,06% com ventiladores. Estas temperaturas foram menores quando existia ventiladores no condensador já que nestas condições a pressão de sucção foi mais baixa. Uma queda da pressão de sucção representa uma queda da temperatura de evaporação do fluido refrigerante do ciclo. Logo, quanto menor for esta temperatura, menor também será a temperatura de trabalho do evaporador do sistema, que para os resfriadores domésticos representa o congelador.

A Fig. 6 apresenta o comportamento da temperatura de descarga do sistema. Verifica-se um comportamento semelhante para ambos os casos, porém com a temperatura de descarga sem ventiladores atingindo valores maiores. Este valor mais elevado é decorrente de uma pressão de descarga maior. Isso acontece devido ao arrefecimento deste trocador ser mais eficiente com o uso dos ventiladores. Obteve-se uma temperatura média de descarga para o caso com ventilação de $47,67^{\circ}\text{C}$ e de $52,36^{\circ}\text{C}$ na ausência dos ventiladores, verificando uma variação de -8,96 para o caso com ventilação.

A temperatura na linha de líquido foi avaliada para ambos os casos conforme mostra a Fig. 7.

Figura 6: Comportamento da temperatura de descarga para os casos estudados

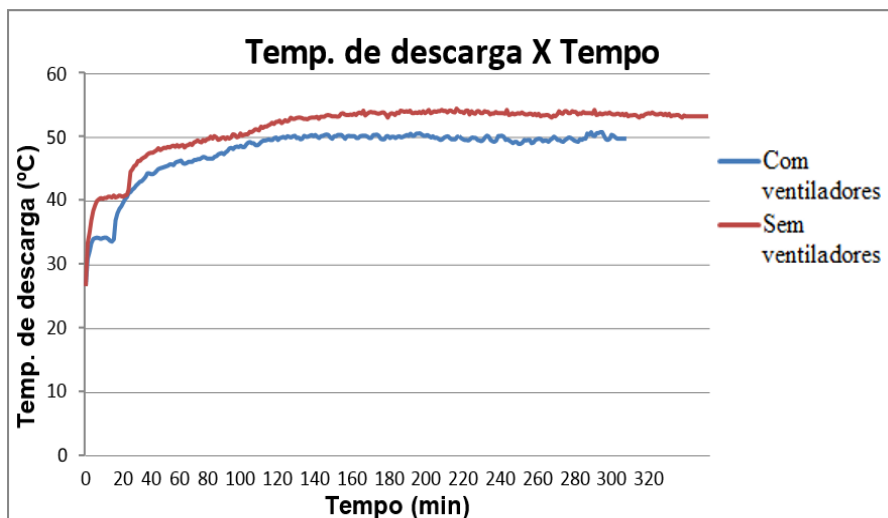
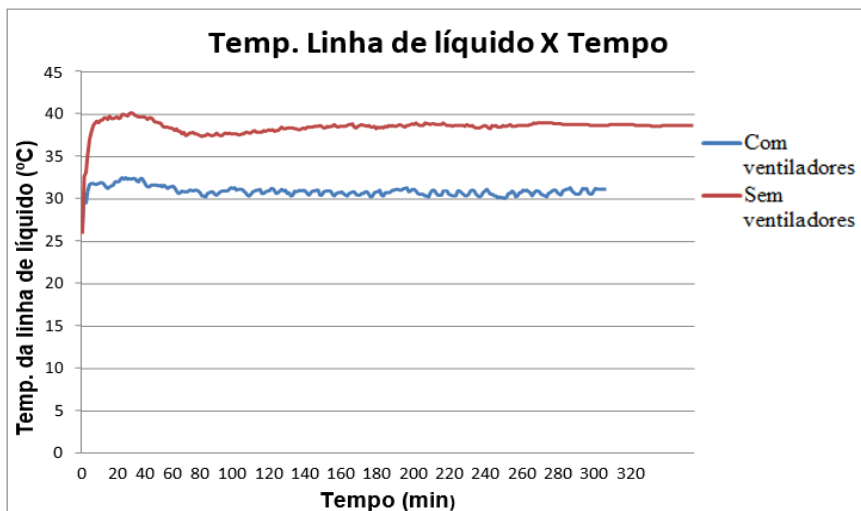


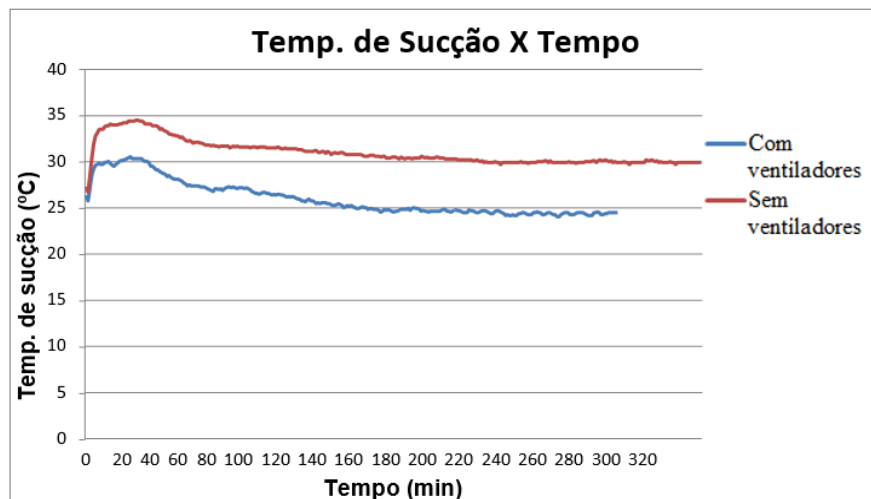
Figura 7: Comportamento da linha de líquido ao longo do experimento



Percebe-se, ao analisar a Fig. 7 que a temperatura da linha de líquido se manteve bem acima para o caso onde não há utilização de ventiladores. Isso evidencia o fato de que na presença de ventilador no condensador há um resfriamento melhor do trocador de calor e o fluido refrigerante rejeita mais calor para o ambiente. A temperatura média da linha de líquido para o caso sem ventiladores foi de $38,51^{\circ}\text{C}$ enquanto que para o caso com os ventiladores o valor obtido foi de $30,89^{\circ}\text{C}$, com uma variação de $-19,79\%$.

O comportamento da temperatura de sucção para ambos os casos se deu conforme a Fig. 8. A coleta deste dado possibilitou determinar o superaquecimento do sistema.

Figura 8: Comportamento da temperatura de sucção do sistema



Tem-se, portanto, que a temperatura de sucção na presença de ventiladores no condensador é menor do que na ausência destes. Como já observado o fluido rejeita uma quantidade maior de calor no condensador e entra na linha de líquido com menor temperatura, e ao passar pelo dispositivo de expansão sua temperatura tende a manter a tendência e atingir menores valores do que para o caso onde não há ventilação. Obteve-se ainda uma temperatura média de sucção para o caso com ventiladores de $26,05^{\circ}\text{C}$ e, $36,06^{\circ}\text{C}$ na ausência destes, com uma variação de $-16,13\%$ na presença de ventilação forçada.

Para análise do comportamento termodinâmico do refrigerador com a utilização do software *Coll Pack*, é necessário determinar as temperaturas de evaporação e condensação a partir das pressões de trabalho do ciclo. De posse destas pressões, as temperaturas de evaporação e condensação do sistema foram determinadas pelo aplicativo para Android "*Refrigerant Slider*". O comportamento para estas temperaturas para cada um dos casos em função do tempo transcorrido de teste é apresentado nas Fig. 9 e 10 a seguir.

Figura 9: Comportamento da temperatura de evaporação no tempo

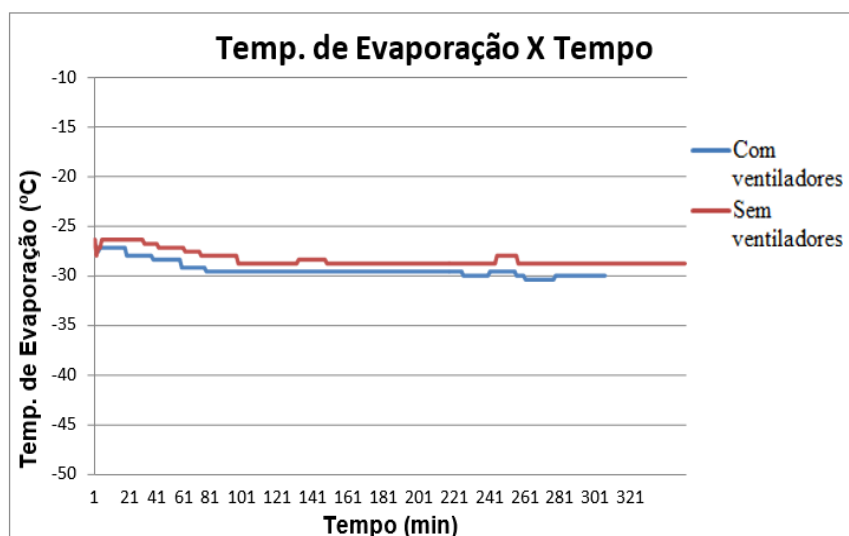
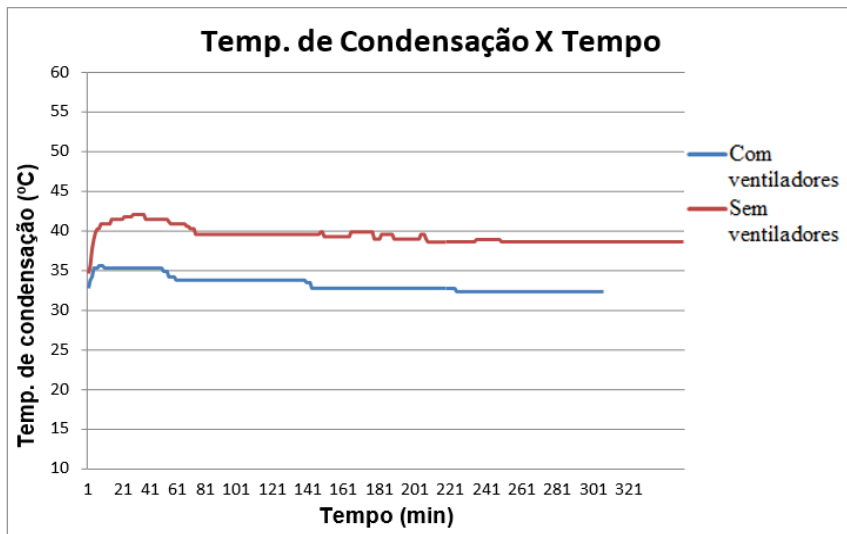


Figura 10: Comportamento da temperatura de condensação no tempo

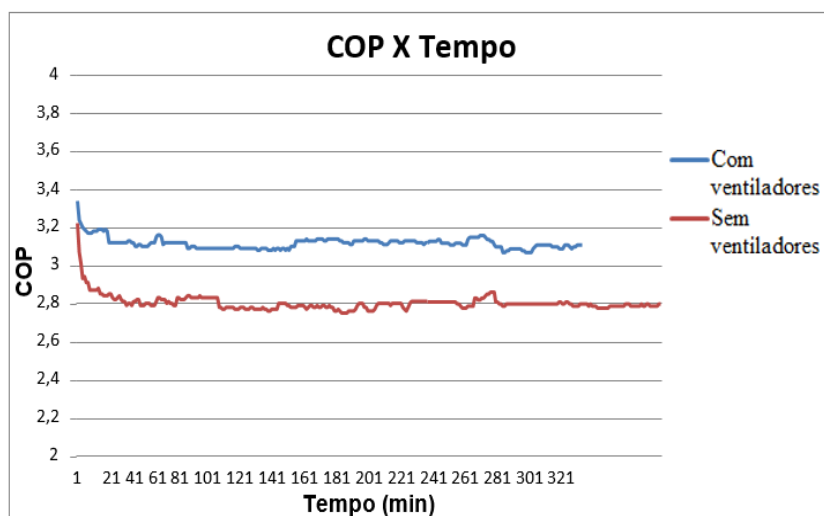


Percebe-se das figuras que para ambas as temperaturas à presença de ventiladores forçando a convecção no refrigerador doméstico diminui os valores destas temperaturas quando comparado ao caso onde não há uso de ventiladores. Tem-se que a diferença entre os valores obtidos com e sem o uso dos ventiladores para a temperatura de evaporação é de uma magnitude que gira em torno de 2°C. Em relação a temperatura de condensação verifica-se uma diferença bem maior entre ambos os casos, compreendendo valores em torno de 6 a 7°C. O valor médio de temperatura de evaporação obtido foi de -29,40°C com os ventiladores e -28,36°C sem os ventiladores, verificando uma variação de -3,67% em relação ao caso com a ventilação forçada, se tratando da temperatura de condensação tem se para ambos os casos 33,33°C e 39,39°C respectivamente, apresentando uma variação de -15,38 em relação a presença dos ventiladores.

Também foram analisados o superaquecimento e o subresfriamento do sistema. Obtendo um valor médio para o superaquecimento para os casos com e sem ventilação de 54,57 °C e 57,87°C respectivamente, e uma variação de -5,70% com ventiladores. Já para o subresfriamento, os valores médios apresentados foi de 4,05 °C com ventiladores e 2,77°C sem ventiladores, o que representa uma variação de 46,20% quanto a presença da ventilação forçada.

Por fim, após a determinação das temperaturas de evaporação e condensação do sistema, seu superaquecimento e seu subresfriamento, torna-se possível a determinação do coeficiente de performance (COP) bem como no seu comportamento no decorrer do tempo de teste, visto na Fig. 11. Essa análise objetiva a mensuração da eficiência em refrigerar o ambiente que o sistema possui, onde quanto maior for seu valor, melhor será a troca térmica desenvolvida pelo equipamento.

Figura 11: Comportamento do COP em função do tempo



Verifica-se, portanto, que a aplicação de ventiladores no condensador de refrigerador resulta em valores de COP sempre maiores do que na ausência destes equipamentos. Outro ponto a salientar é que o COP apresenta valores mais elevados, em ambos os casos, nos primeiros minutos e rapidamente decai até permanecer numa zona de pouca variação. Obteve-se ainda um COP médio como sendo 3,12 com a presença dos ventiladores e 2,80 sem a presença destes, caracterizando uma variação de 11,43% na presença da ventilação forçada.

4. CONCLUSÕES

Na busca da redução do consumo de energia elétrica, conhecer sobre como as diversas variáveis influem no funcionamento de um equipamento pode auxiliar neste quesito. Nesta perspectiva, o presente estudo analisou o funcionamento de um refrigerador doméstico utilizando ventiladores para forçar a convecção no seu condensador a fim de comparar seu desempenho com o caso habitual onde não ocorre este tipo de ventilação forçada.

Diversos resultados foram obtidos como: O tempo para atingir a temperatura de 7°C no compartimento de frios foi 13,47% menor quando houve ventilação forçada no condensador; A pressão de descarga média foi 17% menor com a aplicação dos ventiladores; A potência consumida média foi 4,96% menor com a ventilação do condensador; O congelador do refrigerador atingiu temperatura 6,71% menor com a aplicação de ventiladores; A queda média da temperatura do fluido refrigerante após passar pelo condensador do refrigerador foi 21,16% maior quando se utilizou ventiladores; O COP médio com a utilização dos ventiladores foi 11,43% maior do que na ausência deles.

Desse modo, conclui-se que a ventilação forçada do condensador reduz o consumo de potência por parte do compressor, reduz o tempo de funcionamento do refrigerador para alcançar mesmas temperaturas, reduz as pressões de trabalho do sistema, aumenta consideravelmente a eficiência da troca de calor ocorrida no condensador e eleva o COP do sistema em bons níveis.

5. REFERÊNCIAS

FERREIRA, V. P.; ALVES, L. G.; **Determinação do COP em tempo real utilizando sistema microprocessado.** In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, VI, 2010, Campina Grande, Brasil. Disponível em: <www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-1582.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2019.

Giuliani, Roberto. **A perda de eficiência de refrigeradores domésticos do parque brasileiro e os impactos associados à sua degradação.** 2013. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: <repositorio.unb.br/bitstream/10482/13615/1/2013_RobertoGiuliani.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2019.

Gomes, Alberto Régio. **Análise comparativa de mecanismos de compressão para aplicação em refrigeração doméstica.** 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Área de Concentração de Engenharia e Ciências Térmicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89029/234136.pdf?sequence=1&isAlowed=y>>. Acesso em: 09 jun. 2019.

Joffily, Leandro de Azevedo Lima. **Caracterização do desempenho de compressores de refrigeração segundo um ciclo superaquecido de teste.** 2007. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/1452/1/Dissertacao_LeandroJoffily.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2019.

Pizarro, Rodrigo A. R. **Influência do óleo lubrificante na transferência de calor em um compressor hermético alternativo.** 2007. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89588/257299.pdf?sequence=1&isAlowed=y>>. Acesso em: 08 jun. 2019.

Taveira, Sanne Bontempo. **Sistema de ventilação com resfriador de ar experimental.** 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Computação, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2008. Disponível em: <repositorio.uniceub.br/bitstream/123456789/3305/2/20268204.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2019.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.