

Análise exergetica em bancada de ciclo de refrigeração por compressão de vapor

Exergetic analysis in a refrigeration cycle bench by vapor compression

DOI:10.34117/bjdv8n8-093

Recebimento dos originais: 21/06/2022

Aceitação para publicação: 29/07/2022

Jáder Batista Pereira

Graduação em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ)

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del Rei, CEP: 36307-334

E-mail: jaderbpereira@gmail.com

Caio Cesar Silva Araújo

Graduação em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ)

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del Rei, CEP: 36307-334

E-mail: caioufsj@hotmail.com

Túlio Tito Godinho de Rezende

Mestrado

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ)

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del Rei, CEP: 36307-334

E-mail: tulio.tj@hotmail.com

Luiz Gustavo Monteiro Guimarães

Doutorado

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ)

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del Rei, CEP: 36307-334

E-mail: luizgustavoguimaraes@ufs.edu.br

José Antônio da Silva

Doutorado

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ)

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del Rei, CEP: 36307-334

E-mail: jant@ufs.edu.br

Flávio Neves Teixeira

Doutorado

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ)

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del Rei, CEP: 36307-334

E-mail: flavio@ufs.edu.br

Matheus dos Santos Guzella

Doutorado

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ)

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del Rei, CEP: 36307-334

E-mail: matheusguzella@gmail.com

RESUMO

A análise exergetica é uma ferramenta que vem sendo utilizada com sucesso em diversos estudos visando um uso mais racional da energia e reduzindo o custo dos processos. Com esta análise é possível realizar uma avaliação do processo global, localizando e quantificando a degradação da exergia. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo fazer análise exergetica em um ciclo de refrigeração por compressão de vapor utilizando bancada didática modelo T7082, disponível no laboratório de Ciências Térmicas e de Fluidos da Universidade Federal de São João Del Rei. Foi estudada a influência da temperatura de condensação sobre a destruição de exergia de cada componente. O programa Engineering Equation Solver (EES) foi usado para obter as propriedades termodinâmicas do fluido de trabalho (R134a) e para executar os balanços exergeticos. Neste estudo, constatou-se que a bancada trabalhava com 25% da carga total de gás e que, para todas as condições de funcionamento estudadas, o dispositivo que mais destruiu exergia foi o compressor, seguido por evaporador, dispositivo de expansão e condensador.

Palavras-chave: exergetica, exergia, ciclo, refrigeração, engineering.

ABSTRACT

Exergetic analysis is a tool that has been used successfully in several studies aimed at a more rational use of energy and reducing the cost of processes. With this analysis it is possible to carry out an evaluation of the global process, locating and quantifying the exergy degradation. In this context, the present work had as its objective to make exergetic analysis in a cycle of cooling by compression of steam using didactic system model T7082, available in the laboratory of Thermal and Fluid Sciences of the Federal University of São João Del Rei. It was studied the effect of the condensation temperature on the destruction of exergy of each component. The Engineering Equation Solver (EES) program was used to obtain the thermodynamic properties of the working fluid (R134a) and to perform the exergetic balances. In this study, it was found that the system worked with 25% of the total gas load and that, for all operating conditions studied, the device that most destroyed exergy was the compressor, followed by evaporator, expansion device and condenser.

Keywords: exergetic, exergy, cycle, refrigeration, engineering.

1 INTRODUÇÃO

Os meios de refrigeração já eram do conhecimento humano mesmo na época das mais antigas civilizações, porém dependia diretamente da natureza para a obtenção da matéria primordial, isto é, o gelo, que só se formava no inverno e nas regiões de clima frio.

A geladeira doméstica usando gelo natural (caixa de gelo doméstica) foi inventada em 1803 e foi usada por quase 150 anos sem muita alteração. A caixa de gelo doméstica costumava ser feita de madeira com isolamento adequado. O gelo costumava ser mantido no topo da caixa, e baixas temperaturas eram obtidas na caixa devido à transferência de calor do gelo por convecção natural. Embora o conceito é bastante simples, a caixa de gelo doméstico sofreu de várias desvantagens. O utilizador tem de reabastecer o gelo logo que é consumido, e as temperaturas mais baixas que poderiam ser produzidas dentro do compartimento eram limitadas. Além disso, os invernos quentes causaram escassez de gelo natural nos EUA. Assim, os esforços, a partir de 1887, foram feitos para desenvolver refrigeradores domésticos usando sistemas mecânicos. Os refrigeradores mecânicos domésticos iniciais eram caros, não completamente automáticos e não eram muito de confiança. No entanto, o desenvolvimento de refrigeradores domésticos mecânicos em grande escala foi possível graças ao desenvolvimento de compressores pequenos, controles automáticos de refrigerantes, vedações de eixo melhores, desenvolvimentos em sistemas de energia elétrica e motores de indução (Indian Institute of Technology, 2008).

Refrigeração é a ação de resfriar determinado ambiente de forma controlada, tanto para viabilizar processos, processar e conservar produtos ou efetuar climatização para conforto térmico. Através de um ciclo de refrigeração, o calor é extraído do ambiente a ser refrigerado e é liberado no ambiente externo, portanto a refrigeração não destrói o calor, que é uma forma de energia.

Pode ser considerado ciclo de refrigeração, o processo onde, em circuito fechado, o fluido refrigerante, consiga sucessivamente transformar-se em líquido e vapor, absorvendo calor pela evaporação e rejeitando calor pela condensação (Martinelli, 2003 apud Eich e Ioriz, 2013). E a maneira mais adequada de se estudar a viabilidade e eficiência destes processos é através da análise da exergia e não da energia, devido ao efeito das irreversibilidades (geração de entropia) neles contidos (Ahamed e Saidur, 2011).

Uma definição clássica para a exergia é: o maior trabalho teórico possível de ser obtido conforme o ambiente de referência interaja até o equilíbrio com o sistema de interesse (Moran e Shapiro, 2002).

Nas indústrias, considera-se importantes os cálculos e análises de exergia em cada processo na busca de condições mais eficientes de operação. A análise exérgica é uma ferramenta termodinâmica que pode ser utilizada para avaliar o desempenho de ciclos de refrigeração determinando a magnitude e a localização das irreversibilidades de processos

(perdas de qualidade energética), possibilitando o estudo das mudanças de variáveis operacionais do processo, visando uma economia de consumo de energia (Fábrega e Rossi e D'angelo, 2009). Estes realizaram trabalho de análise exergética em ciclos de refrigeração no processo de produção de eteno e propileno. Propondo mudanças nas variáveis operacionais dos ciclos utilizados, reduziu em cerca de 13% a degradação de exergia.

Joybari *et al.* (2013) aplicaram análise exergética para investigar o desempenho de um refrigerador doméstico projetado originalmente para 145g de R134 A e constatou que a maior perda exergética ocorreu no compressor seguido pelo condensador, válvula de expansão e evaporador. Ainda uma condição ótima, em que a quantidade de carga necessária para o R600a era de 50 g, 66% mais baixa do que a R134a, o que traz vantagens econômicas, ambientais e também reduz significativamente o risco de inflamabilidade do refrigerante de hidrocarboneto.

Yataganbaba e Kilicarslan e Kurtbas (2015) utilizaram análise de exergia em um sistema de refrigeração por compressão de vapor com dois evaporadores usando R1234yf, R1234ze e R134a como refrigerantes. E o achado mais significativo de seu estudo foi a descoberta de R1234ze como uma boa alternativa ao R134a devido ao seu desempenho exergético as suas propriedades ambientalmente amigáveis.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar análise exergética em um ciclo de refrigeração por compressão de vapor utilizando bancada disponível no laboratório de Ciências Térmicas e de Fluidos variando a temperatura de condensação através da variação da vazão de ar do condensador.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar da literatura pertinente com utilização do portal da CAPES para busca de periódicos, de artigos mais recentes que fundamentem o trabalho em questão;
- Instrumentar da bancada com placa de aquisição de dados;
- Implementar programa Engineering Equation Solver (EES), fazendo balanço exergético de cada componente do ciclo de compressão de vapor com a utilização de volume de controle adequado;

- Variar a temperatura de condensação através da variação da vazão de ar do condensador;
- Analisar e discutir os resultados;
- Fazer conclusões e sugestões para trabalhos futuros;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Schmitz e Axt (2009), a exergia é uma propriedade do sistema que quantifica seu potencial de uso, ou seja, dado um sistema em um determinado estado, a exergia nos diz o quanto de trabalho útil pode ser obtido. Exergia como o trabalho máximo que pode ser obtido através do processo mais adequado de um sistema que se encontre em um estado inicial até que atinja o estado final, caracterizado pelo equilíbrio termodinâmico com o ambiente. Essa grandeza pode ser definida também como potencial máximo de trabalho de uma substância ou trabalho mínimo para fazer o sistema sair do estado morto.

A exergia representa o trabalho máximo que pode ser obtido quando uma quantidade de matéria é levada ao estado de equilíbrio termodinâmico (mecânico, térmico e químico) com o meio ambiente, envolvendo interações apenas com os componentes do meio ambiente através de processos reversíveis (Szargut e Morris e Steward, 1988 apud Ortiz e Orrego, 2013).

3.1 CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR

Neste ciclo, existem basicamente cinco componentes: Compressor, condensador, dispositivo de expansão, evaporador e fluido refrigerante. O fluido refrigerante é comprimido na forma de gás pelo compressor que eleva também sua temperatura e é conduzido para o condensador, onde cederá calor ao ambiente externo. Na forma de líquido saturado passa pelo dispositivo de expansão (isentalpico), onde é submetido a uma queda de pressão. Logo, o fluido é conduzido para o evaporador, onde, evaporizando, absorverá calor do ar do ambiente. Segue abaixo na Figura 1 um esquema de um ciclo de refrigeração por compressão de vapor e na Figura 2 um diagrama T-S para esse mesmo ciclo.

Figura 1. Diagrama esquemático de um ciclo de refrigeração por compressão de vapor (AHAMED & SAIDUR).

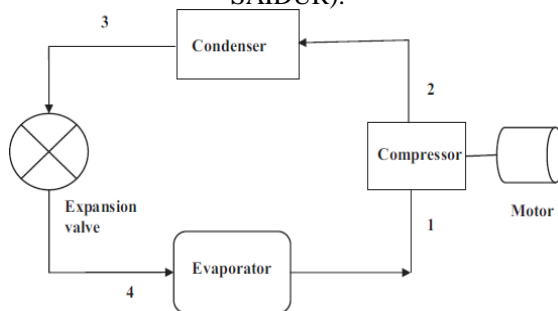
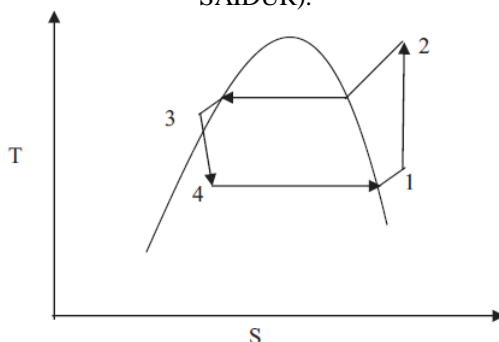


Figura 2. Diagrama T-S para um ciclo de refrigeração com a configuração da Figura 1 (AHAMED & SAIDUR).



Em algumas aplicações industriais exigem que a faixa de temperatura no ciclo seja alta, o que inviabiliza que um único ciclo de refrigeração por compressão de vapor seja utilizado. Esse grande intervalo de temperatura significa, também, um grande intervalo de pressões no ciclo e um desempenho ruim de um compressor alternativo. Para solucionar o problema, dois ou mais ciclos são criados operando em série, para executar uma refrigeração em estágios. Tais ciclos são chamados de ciclos de refrigeração em cascata (Fernandes, 2010). As figuras 3 e 4 foram encontradas no trabalho de Aminyavari *et. al* (2014) e exemplificam, respectivamente, um esquema de um ciclo em cascata de refrigeração CO₂ / NH₃ e o diagrama T-S para esse ciclo. Amônia é usado como refrigerante no circuito de alta temperatura (HTC), enquanto no circuito de baixa temperatura (LTC) dióxido de carbono é empregado como o refrigerante.

Figura 3. Esquema de um ciclo em cascata de refrigeração CO₂ / NH₃ (AMINYAVARI *et al.*).

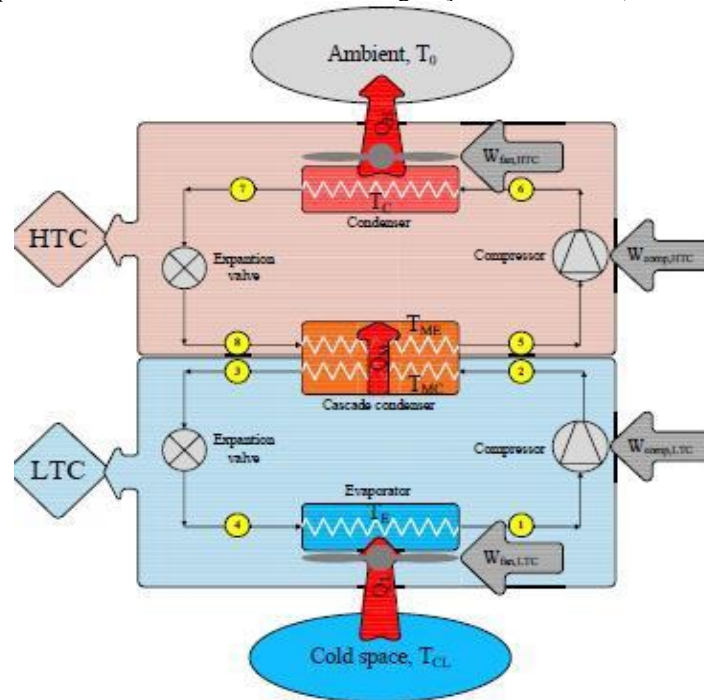
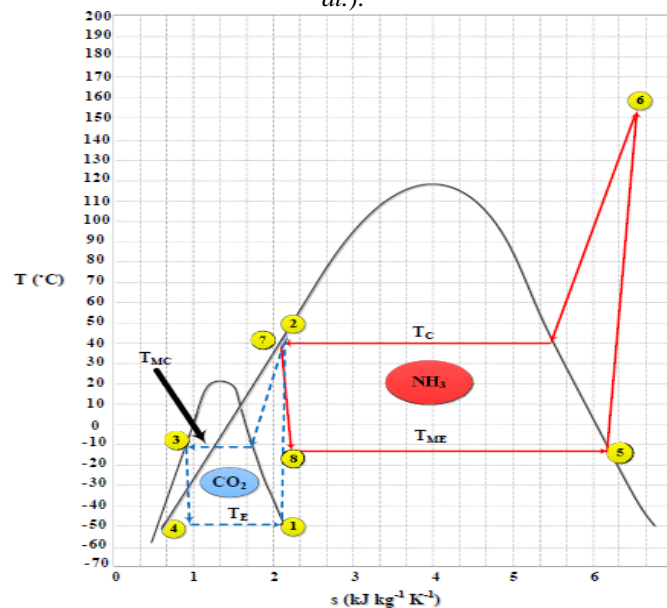


Figura 4. Diagrama T-S para um ciclo de refrigeração com a configuração da Figura 3 (AMINYAVARI *et al.*).



3.2 FLUIDOS REFRIGERANTES

Esses sistemas de energia a vapor podem empregar diferentes fluidos de trabalho. Nenhum fluido refrigerante consegue reunir todas as características desejáveis para determinada aplicação. Por isso, um bom refrigerante é aquele que consegue atender o maior número de propriedades desejáveis, levando em conta a finalidade desse fluido. Portanto, devido às diferenças nas aplicações, um refrigerante utilizado em um

determinado tipo de refrigeração, pode não ser bom o suficiente para outro fim. Os refrigerantes halogenados, CFC's, usados em sistemas de refrigeração, ar condicionado e bombas de calor baseados na compressão de vapor, causam emissões de gases de efeito estufa que, por sua vez, contribuem significativamente para o aquecimento global (destruição da camada de ozônio). Uma solução eficaz para reduzir este tipo de emissões de gases de efeito estufa é a utilização de refrigerantes ecologicamente corretos e eficientes em termos energéticos, os HCFC's e os HFC's (Mohanraj *et al.*, 2009 apud Joybari *et al.*, 2013)

Os CFC's são moléculas formadas pelos elementos cloro, flúor e carbono (ex: R-11, R-12, R502, etc). Nos HCFC's alguns átomos de cloro são substituídos por hidrogênio (ex: R-22, R141b, etc). E finalmente, nos HFC's todos os átomos de cloro são substituídos por hidrogênio (ex: R-134A, R-404A, R407C, etc). Segundo Marcio e Fabio, alguns fluidos podem ser substituído por outros, ambientalmente aceitáveis, em um procedimento exige mínimas alterações no sistema original dos equipamentos que estão em operação em campo. A saber:

- R12- Pode ser substituído por R-401A, R-401B, R-409A e R-413A
- R502- Pode ser substituído por R-402A, R-402B, R408A e R-403A
- R22- pode ser substituído por R-407C, R410A e R417A

4 METODOLOGIA

4.1 EQUACIONAMENTO MATEMÁTICO

O modelo a ser utilizado para o cálculo da exergia é o mesmo abordado por Ahamed e Saidur (2011) que é muito encontrada também nas bibliografias clássicas do estudo da termodinâmica e transferência de calor.

Tomando como referência Figuras 1 e 2 e analisando cada componente do ciclo, temos:

$$Q_{ev} = (h_1 - h_4) \quad (1)$$

$$\epsilon_{ev} = m \left[(h_4 - h_1) - T_0 (s_4 - s_1) \right] + Q_{ev} \left(1 - \frac{T_0}{T_{ev}} \right) \quad (2)$$

$$W_c = m(h_2 - h_1) \quad (3)$$

$$h_c = \frac{h_{2s} - h_2}{\eta_c} \quad (4)$$

$$W_{el} = \frac{W_c}{\eta_{mec}(\eta_{el})} \quad (5)$$

$$\epsilon_{comp} = m[(h_1 - h_2) - T_0(s_1 - s_2)] + W_{el} \quad (6)$$

$$Q_{cond} = m(h_2 - h_3) \quad (7)$$

$$\epsilon_{cond} = m[(h_2 - h_3) - T_0(s_2 - s_3)] - Q_{cond} \left(1 - \frac{T_0}{T_{cond}}\right) \quad (8)$$

$$\epsilon_{exp} = mT_0(s_4 - s_3) \quad (9)$$

$$\epsilon_{total} = \epsilon_{ev} + \epsilon_{comp} + \epsilon_{cond} + \epsilon_{exp} \quad (10)$$

$$COP = \frac{Q_{ev}}{W_{el}} \quad (11)$$

$$\eta_\epsilon = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_4}{W_{el}} \quad (12)$$

$$\eta_e = \frac{h_1 - h_4}{W_{el}} \quad (13)$$

Onde:

T_0 -é a temperatura no estado morto de referência; m-Fluxo mássico de refrigerante;

h_i - Entalpia específica no ponto i;

s_i - é a entropia específica do fluido no ponto i; ϵ_i - Exergia específica do fluido no ponto i;

Q_{ev} - Adição de calor no evaporador; ϵ_{ev} - Exergia destruída no evaporador; T_{ev} - Temperatura de evaporação;

W_c - Trabalho do compressor;

W_{el} - Trabalho elétrico no compressor; η_{mec} - Eficiência mecânica do compressor;

η_{el} - Eficiência elétrica do compressor; ϵ_{comp} - Exergia destruída no compressor; Q_{cond} - Calor perdido no condensador; ϵ_{cond} - Exergia destruída no condensador;

ϵ_{exp} - Exergia destruída no dispositivo de expansão; ϵ_{total} -Destruição total de exergia do ciclo;

COP- Coeficiente de operação do ciclo; η_ϵ - Eficiência Exergética do ciclo;

η_e - Eficiência Energética do ciclo;

Para a eficiência mecânica, à qual, devido ao fato de existir transmissão direta (motor e compressor no mesmo eixo), é tipicamente atribuído um valor de 0,96 ou 0,95

(Sotomayor, 2013 e Campbell, 2014 apud Petroskills 2015). Para tal análise foi admitido 90% eficiência mecânica do compressor e 90% de eficiência elétrica do motor como registrou (Ahamed e Saidur, 2011).

A verificação do código do EES se deu por intermédio de estudo e análise do trabalho de Mendes (2012). Usando as informações nesse contidas como dados de entrada e comparando os resultados encontrou-se os mesmos valores para a destruição de exergia nos componentes do sistema. O que validou o código e permitiu seguir a diante com total confiança de que os dados de entrada serão tratados por um algoritmo no qual as equações concordam com as mais clássicas bibliografias.

4.2 BANCADA

Opera com dois tipos de sistemas térmicos: refrigeração e bomba de calor. É possível instalar, analisar e ajustar esses sistemas. Usa o princípio da compressão de vapor e oferece três tipos diferentes de métodos de expansão, permitindo explorar uma ampla gama de aplicações térmicas e projetos de sistemas. Os componentes são dispostos de uma maneira didática na estação de trabalho para tornar mais prático seguir o fluxo do sistema e compreender a sua operação. Inclui muitos recursos de instrumentação para observar e monitorar o funcionamento do sistema. Os óculos de visão estão localizados em três pontos nas bobinas do evaporador e condensador para mostrar como o refrigerante muda de fase à medida que passa por cada bobina. Medidores de pressão e temperatura são colocados na entrada e saída do condensador e evaporador para determinar o desempenho de aquecimento e resfriamento. Outros componentes incluem indicador de humidade, amperímetro de compressor montado em painel e medidor de fluxo. Pode replicar uma variedade de condições de desempenho com recursos como ventiladores industriais pesados ligados ao condensador e bobinas do evaporador e válvulas manuais colocadas em todo o sistema de refrigeração. Os sopradores têm dampers que podem variar o fluxo de ar através das bobinas, mostrando o efeito da variação de taxas de transferência de calor. As válvulas manuais são usadas para restringir o fluxo de refrigerante e alterar a quantidade de refrigerante no sistema, permitindo que ele flua para dentro ou para fora do acumulador (Amatrol, 2017).

4.3 TESTES EXPERIMENTAIS

Após a leitura dos manuais e o reconhecimento da bancada de testes, foi feita a instrumentação da mesma com o sistema de aquisição de dados. Este é composto por uma

placa Arduino Uno (Figura 5) e sete termopares tipo DS18B20 (Figura 6), distribuídos pela bancada conforme mostrado na Figura 7.

Figura 5. Modelo de placa Arduino utilizada.

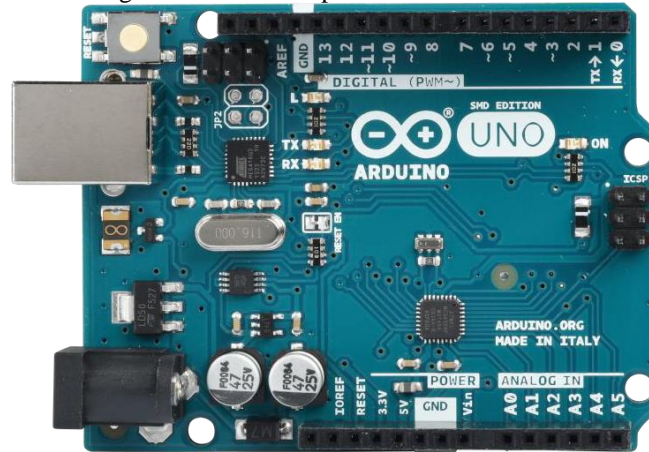


Figura 6. Termopar DS18B20.



Figura 7. Bancada didática com indicação da localização dos termopares.



Então, foi feita a variação da temperatura de condensação através da abertura e fechamento do damper do ventilador do condensador nas condições de “totalmente

aberto”, “aberto pela metade” e “totalmente fechado”. Com a implementação do EES, efetuou-se o balanço exergético de cada componente. EES é um pacote de software comercial usado para solução de sistemas de equações não-lineares simultâneas. Ele fornece muitas funções especializadas úteis e equações para a solução de problemas de termodinâmica e transferência de calor, tornando-se um programa útil e amplamente utilizado para engenheiros que trabalham nestes campos. O Fluido de trabalho escolhido foi o R134a, que é utilizado há muito tempo e portanto já existe vasto conhecimento na literatura sobre suas propriedades termodinâmicas.

Foi realizado um ensaio para cada condição de funcionamento. Após a regulagem da abertura do damper, o sistema era posto em funcionamento, as temperaturas foram aquisitadas com intervalos de 10 segundos e as leituras do rotâmetro foram feitas de forma visual, e computadas também com intervalos de 10 segundos. O fim do ensaio se deu quando as temperaturas e a vazão do fluido se estabilizava ou não variavam mais de forma significativa, e então o regime permanente é considerado. O primeiro ensaio realizado foi para a condição de ventilador totalmente aberto seguido de ventilador totalmente fechado e por último a condição de ventilador aberto pela metade.

4.4 HIPÓTESES

- Não se considera perdas de pressão nem condução de calor ao longo nos dutos;
- Não se considera perda de energia (calor) ao longo dos dutos;
- Não se considera variação de energia potencial gravitacional e nem cinética ao longo dos dutos;
- Considera-se que a temperatura medida do lado externo do duto é uma excelente aproximação para a temperatura do gás em seu interior;
- Considera-se 81% como uma boa estimativa de eficiência para o compressor (Ahamed e Saidur, 2011);
- Considera-se compressão adiabática;
- Pressão de referência de 101,235 kPa e temperatura de referência foi a temperatura ambiente aquisitada por termopar;
- Considera-se o perfeito funcionamento da bancada e seus componentes;

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando as Figuras 8, 9 e 10, pode-se notar que em todos as condições de funcionamento do ventilador do condensador o compressor é o dispositivo do ciclo que mais destruiu exergia, seguido por evaporador, dispositivo de expansão e condensador. Anand e Tyagi (2012) estudou a destruição de exergia em cada componente de acordo com a variação da carga de refrigerante, e os resultados para um sistema operando com 25% da carga total, condizem com o encontrado no presente trabalho, o que sugere que nossa bancada operava na mesma condição de carga de refrigerante.

Figura 8. Destruição de exergia dos componentes do ciclo em função do tempo com o ventilador do condensador totalmente aberto. Temperatura final de condensação 36° C.

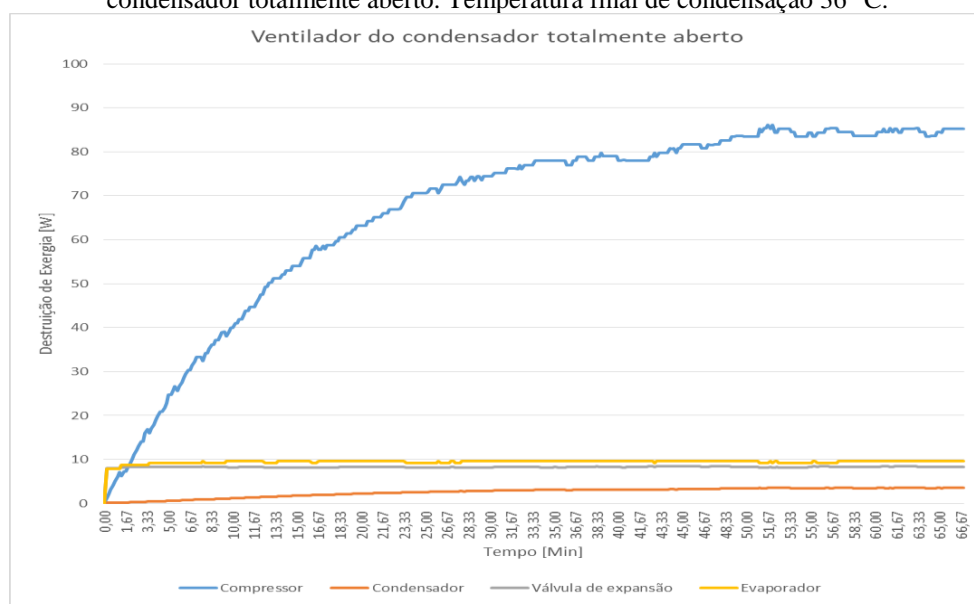


Figura 9. Destruição de exergia nos componentes do ciclo em função do tempo com o ventilador do condensador aberto pela metade. Temperatura final de condensação 38,25° C.

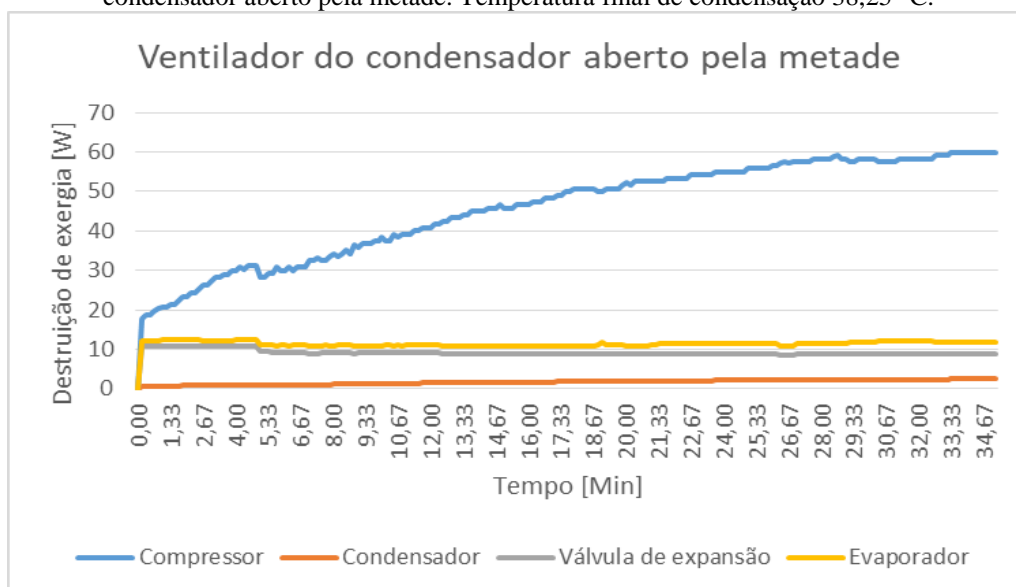
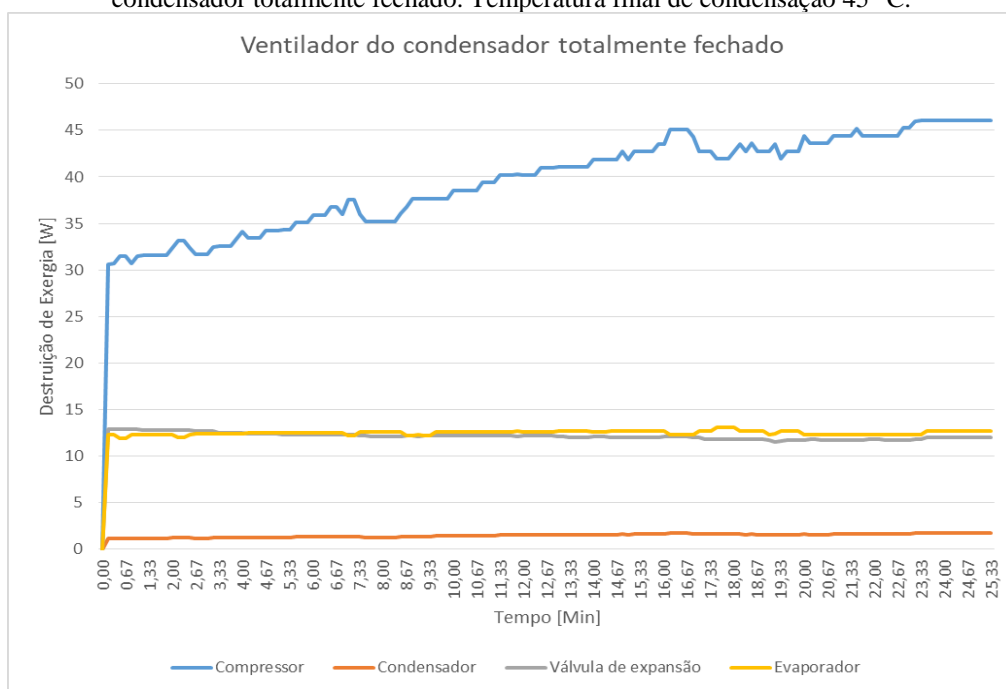


Figura 10. Destruição de exergia dos componentes do ciclo em função do tempo com o ventilador do condensador totalmente fechado. Temperatura final de condensação 45° C.



6 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou um estudo sobre a influência da temperatura de condensação na destruição de exergia dos componentes de um ciclo de refrigeração por compressão de vapor utilizando R134a como fluido de trabalho. O compressor é o dispositivo do ciclo que mais destrói exergia e para todas as condições de funcionamento temos compressor > evaporador > dispositivo de expansão > condensador, o que significa que a bancada estava trabalhando com 25% da carga total de refrigerante.

DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo das informações contidas neste artigo.

REFERÊNCIAS

AMINYAVARI, M.; NAJAFI, B.; SHIRAZI, A.; RINALDI, F. Exergetic, economic and environmental (3E) analyses, and multiobjective optimization of a CO₂/NH₃ cascade refrigeration system. *Applied Thermal Engineering*, v.65, n.p. 42-50, janeiro de 2014.

AHAMED, J.U.; SAIDUR, R.; MASJUKI, H.H. A review on exergy analysis of vapor compression refrigeration system. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, v.15, n.p. 1593-1600, janeiro de 2011.

AMATROL. Air Conditioning / Heat Pump Learning System, disponível em

<<http://www.amatrol.com/coursepage/t7082/>>/<<http://www.amatrol.com/coursepage/t7082/>>. Acesso em: 06 de abr. 2017.

ANAND S.; TYAGI S. K. Exergy analysis and experimental study of a vapor compression refrigeration cycle. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 110, n.p. 961-971, novembro de 2012.

CAMPBELL, J.M., Gas Conditioning and Processing, Volume 2: The Equipment Modules, 9th Edition, 2nd Printing, Editors Hubbard, R. and Snow–McGregor, K., Campbell Petroleum Series, Norman, Oklahoma, 2014. Apud.

FERNANDES, F., Ciclos de refrigeração, 2010. Disponível em:<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABqU4AA/ciclos-refrigeracao>>. Acesso em 22 de agosto de 2018.

EICH, Cristiano; IORIS Marcelo. Dimensionamento de um sistema de refrigeração para uma pasteurizador. 2013. Monografia (Graduação em Bacharel em Engenharia Mecânica)- FAHOR Faculdade Horizontina, Horizontina-RS.

FÁBREGA, F.M.; ROSSI, J.S.; D'ANGELO, J.V.H. Exergetic analysis of the refrigeration system in ethylene and propylene production process. *Energy*, v.35, n.p. 1224-1231, novembro de 2009.

JOYBARI M. M. et al. Exergy analysis and optimization of R600a as a replacement of R134a in a domestic refrigerator system. *International Journal of Refrigeration*, v. 36, n.p. 1233-1242, fevereiro de 2013.

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Refrigeration e Air conditioning: 40 lessons on refrigeration and air conditioning from IIT Kharagpur. Useful training material for mechanical engineering students/college, or as reference for engineer. India: Kharagpur 2008. n. p. 7-8.

MARTINELLI, L. C., Refrigeração, disponível em:<<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAHeoAI/apostila-refrigeracao>>. Acesso em 05 de abril de 2017. Apud.

MENDES, Tiago. Diagnóstico termodinâmico aplicado a um sistema de refrigeração por compressão de vapor. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG.

MOHANRAJ, M., JAYARAJ, S., MURALEEDHARAN, C. Environment friendly alternatives to halogenated refrigerants e a review. *International Journal of Greenhouse*

Gas Control, vol. 3 n.p. 108 a 119, janeiro de 2009. Apud.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. Princípios de termodinâmica para engenharia. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 283p.

ORTIZ, Pablo A. S.; FLÓREZ-ORREGO, Daniel A. Exergy, Concepts and Application (Exergia, Conceituação e Aplicação). 2013. Universidade de São Paulo, São Paulo-SP. DOI 10.13140/RG.2.1.1088.8804.

PETROSKILLS. Como estimar la eficiencia de compresión. Disponível em:

<<http://www.jmcampbell.com/tip-of-the-month/spanish/?p=1588>>. Acesso em: 26 de fev. 2018.

SCHMITZ, Fabiana; AXT Kelly C. Exergia e ciclos termodinâmicos. 2009. Monografia (Graduação em Bacharel em Engenharia Mecânica)- Sociedade Educacional de Santa Catarina – SOCIESC - Instituto Superior Tupy- IST, Joinville-SC.

SOTOMAYOR, Paul O. Caracterização e simulação de compressores alternativos utilizando fluidos com baixo potencial de aquecimento global. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)- Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro- RJ. Apud.

SZARGUT, J.; MORRIS, D.; STEWARD, F. Exergy analysis of thermal, chemical, and metallurgical processes. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1988.

YATAGANBABA, A.; KILICARSLAN, A.; KURTBAS, I. Exergy analysis of R1234yf and R1234ze as R134a replacements in a two evaporator vapor compression refrigeration system. International Journal of Refrigeration, v. 60, n.p. 26-37, agosto de 2015.