

# ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO NO DESEMPENHO DE CICLOS DE REFRIGERAÇÃO

*Eduardo Santana de Moura Sousa<sup>1</sup>*

*Caio Cezar Neves Pimenta<sup>2</sup>*

## RESUMO

No processo de Refrigeração, entre diversos equipamentos que compõem o processo, temos o condensador, que é denominado como um trocador de calor, ou seja, realiza troca de calor durante o ciclo. Resumidamente, a principal função do condensador é resfriar o fluido trocando calor com o ar, isto é, ele transfere o calor absorvido diretamente para o meio externo. Entretanto, temos os fluidos refrigerantes, que também são conhecidos como gases refrigerantes, que, dependendo do seu estágio dentro do ciclo, podem ser líquidos ou gasosos, pois mudam de estado físico durante o processo. Antes da escolha do fluido ideal para o processo, é necessário analisar criteriosamente a sua capacidade térmica, o seu desempenho de refrigeração, e analisar suas reações quanto à entalpia, entropia, pressão e temperatura. Para isso, existem tabelas e software que proporcionam uma maior facilidade e precisão para a escolha o fluido ideal. O COP é definido como coeficiente de desempenho, isto é, é a razão entre o calor absorvido da fonte fria e o trabalho realizado sobre o refrigerante. É desejável que o resultado seja alto, pois quanto maior for o valor do COP, melhor será a eficiência do processo de refrigeração. Este trabalho mostra os resultados referentes ao coeficiente de desempenho sob diferentes temperaturas de condensação, e também tem o propósito de analisar o estudo da influência da temperatura de condensação no desempenho de ciclos de refrigeração COP.

Palavras-chave: Temperatura de condensação. Refrigeração. Coeficiente de desempenho.

---

<sup>1</sup>Graduando de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Mecânica.

<sup>2</sup>Orientador, Professor da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde – UNIRV.

# 1 INTRODUÇÃO

Milhares de anos atrás, as antigas civilizações iniciaram o processo de refrigeração e tinham como conhecimento os recursos naturais para tal processo. Entretanto, podemos destacar que a civilização chinesa se destacou por utilizar gelo natural com o propósito de conservar os alimentos que consumiam. Esses gelos eram colhidos em rios e lagos e colocados em poços, esses poços normalmente eram feitos em terra e cobertos por palha (MARTINELLI JÚNIOR, 2013).

Diante da dificuldade enfrentada na antiguidade por falta de tecnologia e conhecimento, o primeiro refrigerador doméstico surgiu em meados de 1913, porém era uma máquina que não tinha um eficiente muito bom, ou seja, o seu COP era baixo. Então, depois de diversas e diversas tentativas sem êxito, o primeiro refrigerador automático fabricado pela “KelvinatorCompany” surgiu somente em 1918 na América do norte, especificamente nos Estados Unidos da América. Após a criação desse refrigerador, a produção de refrigeradores mecânicos evoluiu absurdamente (FERRAZ & GOMES, 2008). Este estudo nos apresentará como melhorar a eficiência e aperfeiçoar o ciclo de refrigeração sobre as temperaturas de condensação no próprio condensador.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

O presente trabalho tem por objetivo estudar numericamente o desempenho do ciclo real de refrigeração, de modo a verificar e quantificar a influência da temperatura de condensação do fluido refrigerante na determinada condição, funcionamento e desempenho do ciclo. Verificar as variações do coeficiente de desempenho (COP) em relação a diferentes temperaturas de condensação, na entrada e também na saída do refrigerante no condensador.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Salvador (1999), a refrigeração consiste em qualquer processo em que se transfere energia térmica de menor temperatura para outro ambiente de maior temperatura. É importante ressaltar também que cerca de 25% dos alimentos perecíveis no mundo são congelados, e que o resfriamento dos alimentos é uma ótima técnica de conservação da qualidade dos alimentos. Sobre os benefícios dessa técnica, podemos dizer que o congelamento dos alimentos preserva o sabor, a textura e o valor nutricional. Para a realização dessa técnica, é necessário primeiramente descrever sobre os componentes que ajudam a realizar o processo: Condensador, Evaporador, Compressor e Válvula de expansão.

### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o seguinte estudo, os cálculos sobre a eficiência da temperatura de condensação no desempenho de ciclos de refrigeração será feito através da biblioteca termodinâmica, foi também analisado a partir das leis da Termodinâmica, primeira e segunda, para a análise de volume de controle e os componentes de um ciclo de refrigeração.

#### 4.1 - 1ª LEI DA TERMODINÂMICA

De acordo com Wyglen (2013), a definição da primeira lei da termodinâmica se refere ao princípio da conservação de energia. Esse conceito pode ser utilizado em quaisquer processos em que a energia de um sistema é mudada com o meio externo em forma de calor e trabalho.

$$DE/DT = Q - W + \sum mehe - \sum mshs$$

Q = Quantidade de calor trocado com o meio

W = Trabalho ou Potência

$h$  = Entalpia

$m$  = Massa

## 4.2 - 2ª LEI DA TERMODINÂMICA

De acordo com Wyglen (2013), o que difere a primeira lei da termodinâmica da segunda Lei da termodinâmica é a entropia. Em outras palavras, entropia é a medida de desordem das moléculas de um sistema, ou seja, uma energia sem qualidade que pode prejudicar o sistema. Basicamente, a segunda lei da termodinâmica explica que a entropia de um sistema fechado sempre irá aumentar.

$$T = Q_a - Q_r$$

$Q_a$  = Calor na fonte de aquecimento

$Q_r$  = Calor na fonte de resfriamento

$T$  = Trabalho

$$\eta = W/QH$$

$\eta$  = Rendimento

$W$  = trabalho

$QH$  = calor recebido da fonte quente

Em estudo adiante, demonstramos através de cálculos comprovando a influência da temperatura de condensação, o desempenho de ciclos de refrigeração. Estudaremos dois exercícios com diferentes temperaturas, comparando-os para analisarmos se realmente há essa influência da temperatura no ciclo.

Exercício 1 – Qual é o trabalho de compressão num ciclo onde o refrigerante que está em uso é o R-410a, com uma temperatura de evaporação de  $-5^\circ\text{C}$  e uma temperatura de condensação de  $48^\circ\text{C}$ , verifique também qual é o coeficiente de eficiência “COP”.

1º Passo para execução deste exercício: é necessário verificar todos os dados de cada ponto, (compressor, condensador, válvula expansão e evaporador) através do software chamado “*Computer-Aided Thermodynamic*” utilizado como material de apoio.

Ponto 1 – Entrada do fluido no compressor

Temperatura =  $-5^{\circ}\text{C}$

Título = 1

Pressão = 0,6789 MPa

Entalpia = 277,5 KJ/Kg

Entropia = 1,047 KJ/Kg/K

Ponto 2 – Entrada do fluido no condensador

Temperatura =  $70,86^{\circ}\text{C}$

Pressão = 2,927 MPa

Entalpia = 318,2 KJ/Kg

Entropia = 1,047 KJ/Kg/K

Ponto 3 – Entrada do fluido no dispositivo de expansão

Temperatura =  $48^{\circ}\text{C}$

Título = 0

Pressão = 2,927 MPa

Entalpia = 139,6 KJ/Kg

Entropia = 0,4945 KJ/Kg/K

Ponto 4 – Entrada do fluido no evaporador

Temperatura =  $-4,998^{\circ}\text{C}$

Pressão = 0,6789 MPa

Entalpia = 139,6 KJ/Kg

Entropia = 0,5322 KJ/Kg/K

2° Passo: em seguida, demonstramos o valor do trabalho de compressão em KJ/Kg através da fórmula termodinâmica:

$$W = \sum m e h_e - \sum m s h_s$$

$$W = m(h_e - h_s)$$

$$W = 277,5 - 318,2$$

$$W = -40,7$$

3° Passo: calcular o efeito de refrigeração em KJ/Kg onde o processo ocorre no trocador de calor evaporador.

$$Ql = m(hs - h_e)$$

$$Ql = m(277,5 \text{ KJ/Kg} - 139,6 \text{ KJ/Kg})$$

$$q_l = 137,9 \text{ KJ/Kg}$$

4° Passo: finalmente calculamos coeficiente de eficácia denominado por COP. Podemos definir o coeficiente de refrigeração através da razão do efeito de refrigeração sobre o trabalho de compressão, ambos já foram calculados acima.

$$COP = Q_L / W$$

$$COP = 137,9 / |-40,7|$$

$$COP = 3,3882$$

Exercício 2 – Qual é o trabalho de compressão num ciclo onde o refrigerante que está em uso é o R-410a, com uma temperatura de evaporação de  $-5^\circ \text{C}$  e uma temperatura de condensação de  $52^\circ \text{C}$ , verifique também qual é o coeficiente de eficiência “COP”.

1° Passo para execução deste exercício: é necessário verificar todos os dados de cada ponto, (compressor, condensador, válvula expansão e evaporador) através do software chamado “*Computer-Aided Thermodynamic*” utilizado como material de apoio.

Ponto 1 – Entrada do fluido no compressor

Temperatura =  $-5^\circ \text{C}$

Título = 1

Pressão = 0,6789 MPa

Entalpia = 277,5 KJ/Kg

Entropia = 1,047 KJ/Kg/K

Ponto 2 – Entrada do fluido no condensador

Temperatura =  $76,41^\circ \text{C}$

Pressão = 3,209 MPa

Entalpia = 320,9 KJ/Kg

Entropia = 1,047 KJ/Kg/K

Ponto 3 – Entrada do fluido dispositivo de expansão

Temperatura = 52 °C

Título = 0

Pressão = 3,209 MPa

Entalpia = 147,9 KJ/Kg

Entropia = 0,5191 KJ/Kg/K

Ponto 4 – Entrada do fluido no evaporador

Temperatura = -4,998°C

Pressão = 0,6789 MPa

Entalpia = 147,9 KJ/Kg

Entropia = 0,5632 KJ/Kg/K

2° Passo: em seguida, demonstramos o valor do trabalho de compressão em KJ/Kg através da fórmula termodinâmica:  $W = \sum m e_h e - \sum m s_h s$ .

$$W = \sum m e_h e - \sum m s_h s$$

$$W = m(h_e - h_s)$$

$$W = 277,5 - 318,2$$

$$W = -40,7$$

3° Passo: calcular o efeito de refrigeração em KJ/Kg onde o processo ocorre no trocador de calor evaporador.

$$Q_L = m(h_s - h_e)$$

$$q_L = m(277,5 \text{ KJ/Kg} - 147,9 \text{ KJ/Kg})$$

$$q_L = 129,6 \text{ KJ/Kg}$$

4° Passo: finalmente calculamos o coeficiente de eficácia denominado por COP. Podemos definir o coeficiente de refrigeração através da razão do efeito de refrigeração sobre o trabalho de compressão, ambos já foram calculados acima.

$$\text{COP} = q_L / W$$

$$\text{COP} = 129,6 / |-40,7|$$

$$\text{COP} = 3,1843$$

## 4.3 COMPONENTES DE UM CICLO DE REFRIGERAÇÃO

### 4.3.1 Compressor

O compressor é um equipamento mecânico cuja principal função é succionar o fluido refrigerante com baixa pressão e comprimi-lo, e encaminhar ao condensador à elevada pressão e alta temperatura, deixando assim o fluido na fase de vapor superaquecido, ou seja, é responsável por criar diferença de pressão no circuito de refrigeração e circular o fluido refrigerante pelo sistema (WYGLEN, 2013).

**FIGURA 1** – Compressor



Fonte: Eduardo Santana de Moura Sousa, 2017.

### 4.3.2 Condensador

O condensador é um equipamento mecânico, um trocador de calor, cuja função é basicamente rejeitar o calor e transferi-lo para o ambiente externo (SALVADOR, 1999).

O fluido sob alta pressão entra no condensador até que se transforme de estado gasoso

para o estado líquido, então o condensador permite que o estado líquido do fluido se transforme em uma mistura de vapor com líquido, esse estado é denominado vapor saturado.

O processo consiste em um vapor aquecido, que passa pelo condensador e entra em contato com uma superfície com uma temperatura menor, ou seja, inferior ao seu ponto de ebulição, assim ele condensa (WYGLEN, 2013).

**FIGURA 2** – Condensadores



Fonte: Eduardo Santana de Moura Sousa, 2017.

### 4.3.3 Dispositivo de expansão

O dispositivo de expansão também pode ser chamado de válvula de expansão. Sua função é regular o fluxo do fluido, garantir que ele se evapore por completo na serpentina, para garantir a redução da pressão do ciclo (FERRAZ, 2008).

**FIGURA 3** – Dispositivo de expansão



Fonte: REFRIGAS (2017).

#### 4.3.4 Fluido Refrigerante

Fluido Refrigerante é uma substância química utilizada em ciclo térmico em sistemas de refrigeração e, dependendo do estágio, pode sofrer alteração no próprio ciclo, isto é, mudança de fase, ficando líquido ou gasoso, absorvendo calor e resfriando ambientes (SALVADOR, 1999).

De acordo com Ferraz (2008), não existe nenhum fluido que tenha todas as propriedades mecânicas desejáveis, entretanto, pode ser considerado um bom fluido refrigerante aquele que consiga reunir o maior número qualidades.

**FIGURA 4** - Bujões de gás refrigerante



Fonte: Revoni (2017).

### 3.1.5 Evaporador

A função do evaporador, basicamente, é retirar o calor do meio e refrigerar, diminuindo sua temperatura até um valor específico (ZIGMANTAS, 2006). O evaporador é um equipamento mecânico, ou seja, um trocador de calor que tem um papel fundamental no ciclo de refrigeração, que é absorver o calor do meio a ser resfriado causando o efeito frigorífico (ANTUNES, 2007).

**FIGURA 5** – Evaporador de tubo aletado



**Fonte:** novaclimatica (2017).

## 5 FUNCIONAMENTO DO PROCESSO DE REFRIGERAÇÃO

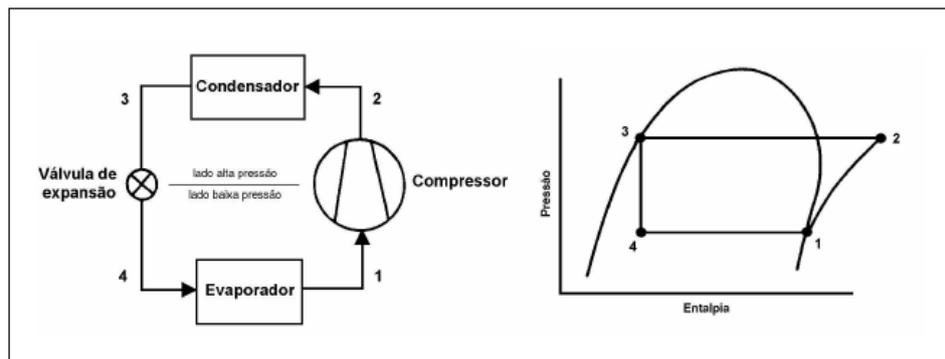
Ferraz (2008) diz que o processo de refrigeração se inicia quando o fluido é succionado e comprimido pelo compressor. Quando o fluido ou refrigerante sai desse componente, ele está no estado de valor com a pressão e temperatura aumentadas. Neste instante, observa-se o aumento da pressão de descarga e diminuição da pressão de sucção.

O fluido refrigerante em forma de vapor passa pelo tubo de descarga para o condensador, onde inicia a transferência de calor do fluido refrigerante para o ar do ambiente exterior. Assim, o gás superaquecido que está no condensador esfria até atingir a temperatura de condensação, passando do estado gasoso para uma mistura de líquido e vapor até atingir o estado de saturação, em que se torna totalmente líquido.

Em seguida, o fluido refrigerante já em estado de líquido sub-resfriado passa pelo filtro secador que retém umidade residual, na sequência, esse líquido passa através de um dispositivo de expansão, que pode ser um tubo capilar ou uma válvula de expansão, a função desse dispositivo é criar uma resistência à passagem do líquido em alta pressão.

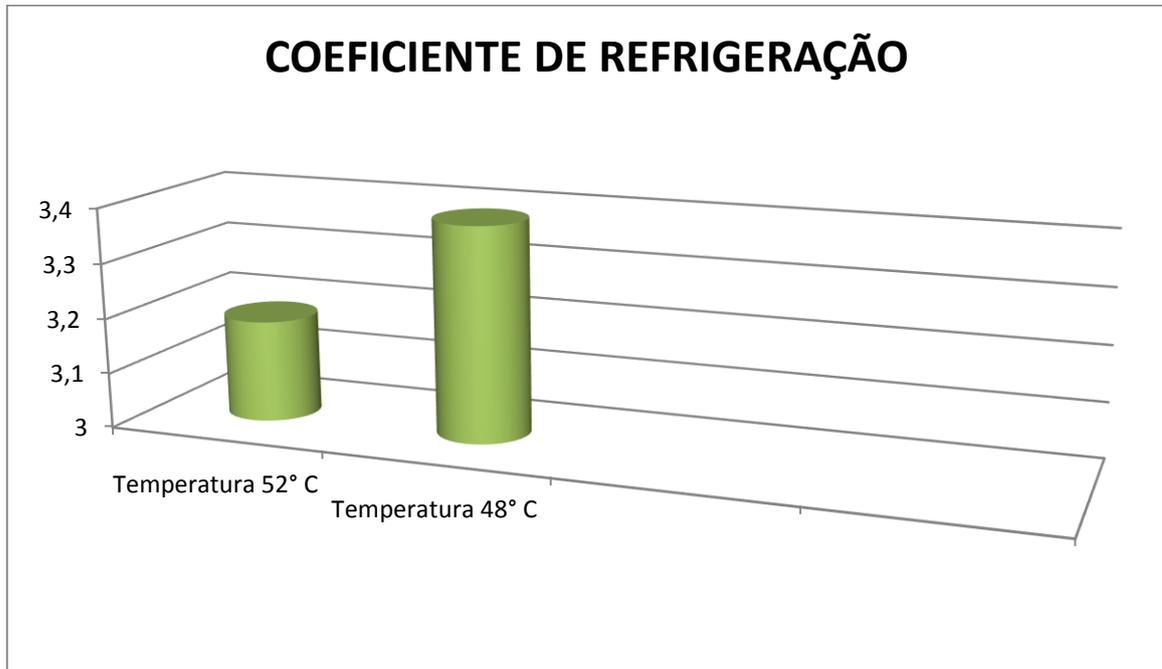
Durante esse processo conhecido como expansão, a temperatura do líquido é baixada de forma abrupta. O líquido, em baixa pressão em temperatura, entra no evaporador para absorver o calor proveniente do espaço refrigerado no interior do refrigerador. Durante esse processo de absorção de calor, o fluido refrigerante líquido evapora, sendo posteriormente succionado pelo compressor reiniciando o ciclo. Essa é uma visão geral do circuito de refrigeração presente na maioria dos refrigeradores disponíveis no mercado.

**FIGURA 6** – Circuito frigorífico e diagrama p-h do ciclo padrão de compressão a vapor



Fonte: Salvador (2009, p.11).

## 6 CONCLUSÃO E RESULTADOS



Conclui-se que obtivemos dois resultados diferentes. De acordo com a segunda lei da termodinâmica, comprovamos toda teoria citada em demonstração de fórmula e resultados. Podemos dizer ainda que quanto maior for a temperatura de condensação, menor será a eficiência de refrigeração no sistema, sendo que essa citação foi comprovada nos cálculos acima, onde fizemos o primeiro exercício com temperatura equivalente a 48 °C e o segundo exercício com temperatura equivalente a 52 °C. Para cada temperatura, o software forneceu dados requisitados em que foram feitos os cálculos com êxito. Devemos afirmar que a temperatura é um fator muito importante que interfere e influência totalmente no ciclo convencional de refrigeração, portanto é um fator que deve ser levado em consideração e deve-se ser sempre cauteloso nesse quesito.

*STUDY OF THE INFLUENCE OF CONDENSATION TEMPERATURE IN THE PERFORMANCE OF REFRIGERATION CYCLES COP*

**ABSTRACT**

In the process of refrigeration, among several equipments that compose the process we have the condenser, in which it is termed as a heat exchanger ie it does heat exchange during the cycle. Briefly, the main function of the condenser is to cool the fluid by exchanging heat with the air ie it transfers the absorbed heat directly to the external medium. However, we have the fluid coolants, they are also known as refrigerant gases, which depending on their stage inside the cycle, can be in the liquid or gaseous form as they change their physical state during the process. Before choosing the ideal fluid for the process, it is necessary to carefully analyze its thermal capacity, its cooling performance, and analyze its reactions for enthalpy, entropy, pressure and temperature, for this there are tables and software that provide greater ease And precision for choosing the ideal fluid. The COP is defined as a coefficient of performance ie it is the ratio between the heat absorbed from the cold source and the work done on the refrigerant, it is desirable that the result be high, since the higher the COP value, the better the efficiency Of the refrigeration process. This work shows the results concerning the coefficient of performance under different condensation temperatures and also has the purpose of analyzing the study of the influence of condensation temperature on the performance of COP refrigeration cycles

Keywords: Condensation temperature. Refrigeration. Coefficient of performance.

## REFERÊNCIAS

ANTUNES, Arthur; GARCIA, Francisco; FILHO, Enio. *Avaliação experimental de um sistema de refrigeração com variação da rotação do compressor*. Universidade Federal de Uberlândia, 2007.

FERRAZ, Fábio; GOMES, Márcio. *O histórico da refrigeração, fluidos refrigerantes, ozônio, processo de formação, destruição de sistemas de refrigeração, componentes de um sistema de refrigeração*. Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia, 2008.

JÚNIOR, Luiz. *Refrigeração*. UNIJUÍ - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2013.

SALVADOR, Francisco. *Projeto de um sistema de refrigeração industrial com 'set-point' variável*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

SCHREINER, João. *Desenvolvimento de metodologias de simulação para a análise de soluções de gerenciamento térmico aplicadas a compressores alternativos de refrigeração*. Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

WYGLLEN, Van; Borgnakke, Claus; Sonntag, Richard. *Fundamentos da termodinâmica*. Tradução da 8ª Edição, 2013.

ZIGMANTAS, Paulo. *Simulação de sistemas simples estágios de refrigeração por compressão a vapor*. Universidade Federal do Pará Centro tecnológico, 2006.