

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

PAULO EDSON MOLGARO

**ESTUDO SOBRE O COEFICIENTE DE DESEMPENHO (COP) DE UM SISTEMA
DE REFRIGERAÇÃO UTILIZANDO DOIS FLUIDOS REFRIGERANTES
DISTINTOS.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2015

PAULO EDSON MOLGARO

**ESTUDO SOBRE O COEFICIENTE DE DESEMPENHO (COP) DE UM SISTEMA
DE REFRIGERAÇÃO UTILIZANDO DOIS FLUIDOS REFRIGERANTES
DISTINTOS.**

Trabalho de Diplomação apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Paulo César Tonin.

MEDIANEIRA

2015



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO SOBRE O COEFICIENTE DE DESEMPENHO (COP) DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO UTILIZANDO DOIS FLUIDOS REFRIGERANTES DISTINTOS.

Por

PAULO EDSON MOLGARO

Este Trabalho de Diplomação foi apresentado às 08:30 h do dia 23 de Novembro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Medianeira. O acadêmico foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho Aprovado

Prof. Dr. Paulo César Tonin
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Orientador)

Prof. Me. Ivair Marchetti
UTFPR - *Campus* Medianeira
(Convidado)

Prof. Dr. Almiro Weiss
UTFPR - *Campus* Medianeira
(Convidado)

Prof. Me. Paulo Job Brenneisen
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Responsável pelas atividades de TCC)

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na coordenação do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por ter me dado saúde e me guiado nesta caminhada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo César Tonin, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

RESUMO

Sistemas de refrigeração de pequeno porte podem utilizar fluidos refrigerantes diferentes. Neste trabalho teve-se como objetivo comparar o desempenho de um sistema de refrigeração utilizando dois fluidos refrigerantes distintos, R22 e R404a. Com uma bancada existente e equipada com chaves seletoras capazes de combinar: compressor alternativo e tubo capilar; compressor alternativo e válvula de expansão; compressor rotativo e tubo capilar e compressor rotativo com válvula de expansão, realizaram-se oito testes diferentes. Na saída de cada componente, foram instalados medidores de pressão e termômetros digitais com o objetivo de calcular o desempenho do sistema para as diferentes combinações possíveis. Analisando os resultados dos testes usando o fluido R22, verificou-se que o sistema de refrigeração, composto pelo compressor rotativo e o tubo capilar, teste 02, obteve o melhor desempenho, 89,84%, comparado ao ciclo de Carnot. Usando o compressor alternativo juntamente com a válvula de expansão, teste 07, obteve-se um desempenho de 79,80% comparado ao ciclo de Carnot.

Palavras-chave: Fluidos refrigerantes. Sistema de refrigeração. Dispositivos de expansão.

ABSTRACT

Small cooling systems may use different refrigerants. This study was aimed to compare the performance of a cooling system using two different refrigerants R22 and R404a. With an existing countertop and equipped with selector switches that combine: reciprocating compressor and capillary tube; reciprocating compressor and expansion valve; rotary compressor and capillary tube and an expansion valve, have been eight different tests. At the exit of each component were installed digital pressure gauges and thermometers for the purpose of calculating the system performance for different possible combinations. Analyzing the test results using the fluid R22, it was found that the cooling system comprises the rotary compressor and the capillary tube, test 02, performed best 89.84% compared to the Carnot cycle. Using the reciprocating compressor along with the expansion valve, test 07, there was obtained a performance 79,80% compared to the Carnot cycle.

Keywords: Coolant fluids. Cooling system. Expansion devices.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Ciclo de refrigeração real e de Carnot para o teste 1.....	25
Gráfico 2 - Ciclo de refrigeração real e de Carnot para o teste 2.....	27
Gráfico 3 - Ciclo de refrigeração real e de Carnot para o teste 3.....	29
Gráfico 4 - Ciclo de refrigeração real e de Carnot para o teste 4.....	31
Gráfico 5 - Ciclo de refrigeração real e de Carnot para o teste 5.....	33
Gráfico 6 - Ciclo de refrigeração real e de Carnot para o teste 6.....	35
Gráfico 7 - Ciclo de refrigeração real e de Carnot para o teste 7.....	37
Gráfico 8 - Ciclo de refrigeração real e de Carnot para o teste 8.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado do teste 01.....	24
Tabela 2 - Resultado do teste 02.....	26
Tabela 3 - Resultado do teste 03.....	28
Tabela 4 - Resultado do teste 04.....	30
Tabela 5 - Resultado do teste 05.....	32
Tabela 6 - Resultado do teste 06.....	34
Tabela 7 - Resultado do teste 07.....	36
Tabela 8 - Resultado do teste 08.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de refrigeração.....	13
Figura 2 - Compressor alternativo.....	14
Figura 3 - Compressor rotativo.....	15
Figura 4 - Tubo Capilar.....	16
Figura 5 - Válvula Expansão direta.....	16
Figura 6 - Condensador.....	17
Figura 7 - Evaporador.....	18
Figura 8 - Manômetros de alta e baixa e Termômetros digitais.....	19
Figura 9 - Bancada de testes.....	20
Figura 10 - Painel de comando.....	21
Figura 11 - Ligação dos manômetros.....	22
Figura 12 - Computer-Aided Thermodynamic Tables.....	23

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 DEFINIÇÕES E CONCEITOS.....	12
2.1 COMPRESSORES	13
2.1.1 Compressor alternativo.....	13
2.1.2 Compressor rotativo.....	14
2.2 DISPOSITIVOS DE EXPANSÃO.....	15
2.2.1 Tubo Capilar.....	15
2.2.2 Válvula de Expansão Termostática.....	16
2.3 CONDENSADOR	17
2.4 EVAPORADOR.....	18
2.5 TERMÔMETRO.....	18
2.6 MANÔMETRO.....	19
3 FUNCIONAMENTO DA BANCADA.....	20
3.1 PONTOS DE MEDIÇÃO	22
4 TESTES REALIZADOS.....	23
4.1 TESTE 1.....	24
4.2 TESTE 2.....	25
4.3 TESTE 3.....	27
4.4 TESTE 4.....	29
4.5 TESTE 5.....	31
4.6 TESTE 6.....	33
4.7 TESTE 7.....	35
4.8 TESTE 8.....	37
5 CONCLUSÃO.....	40
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

A utilização dos meios de refrigeração é do conhecimento humano desde as mais antigas civilizações. Hebreus, gregos e romanos colocavam neve em poços de armazenamento, isolados com madeira e palha, para armazenar seus alimentos. No século XVI, adicionavam nitrato de sódio ou nitrato de potássio à água, diminuindo sua temperatura (REIS, 2005).

No ano de 1755 já se conhecia o efeito de resfriamento causado pelo éter ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-O-CH}_2\text{CH}_3$) ao se evaporar sobre a pele. Naquele tempo, o professor de química, William Cullen, demonstrou a formação de gelo na água em contato com um recipiente contendo éter. Ao reduzir a pressão sobre o éter ele evaporou a uma temperatura baixa o suficiente para proporcionar a formação do gelo (REFRIGERAÇÃO, 2011).

Em 1824, Faraday sugeriu a criação de uma unidade de refrigeração na qual uma reação entre os vapores de amônia e sais de prata fosse usada para obter a vaporização da amônia líquida. Desde então, outros pares de substâncias foram testados, a fim de obter uma maior eficiência térmica (PRATTS, 1997).

O fluido chamado refrigerante absorve calor do ambiente a ser resfriado. Condições ideais, Condensar-se a pressões moderadas, evaporar-se a pressões acima da atmosférica, ser quimicamente estável, não ser corrosivo, não ser tóxico, não atacar a camada de ozônio e não causar o aquecimento global.

Desde a década de 30 os clorofluorcarbonetos (CFC) foram empregados em geladeiras, aparelhos de ar condicionado e aerossóis, no entanto, meio século depois, os cientistas descobriram que a substância era altamente poluente e já havia afetado de forma significativa a camada de ozônio. Essa preocupação com o meio ambiente gerou o Protocolo de Montreal, que é um tratado internacional que determina a redução de substâncias que destroem a camada de ozônio, que foi abordado, inicialmente, durante a Convenção de Viena de 1985.

Concomitante a estes fatos, temos o advento dos fluidos refrigerantes chamados HFCs, HCFC e *blends*, os quais são misturas de CFC's, como por exemplo o R-12, que buscam, obter as mesmas propriedades térmicas dos CFC, porém com componentes menos nocivos à saúde dos profissionais que os manuseiam e ao meio ambiente.

Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho é apresentar um estudo sobre o coeficiente de desempenho (COP) de um sistema de refrigeração utilizando dois fluidos refrigerantes distintos.

Como objetivos específicos tem-se:

a) Medir a temperatura e a pressão nas entradas e nas saídas do compressor, condensador, evaporador e dispositivo de expansão;

b) Comparar o (COP) do sistema utilizando dois dispositivos de expansão: o tubo capilar e a válvula de expansão, dois compressores: alternativo e rotativo e dois fluidos refrigerantes: R22 e R404a.

2 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

Um circuito de refrigeração é composto por cinco componentes: compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador. A união destes componentes forma o circuito onde passará o fluido refrigerante, a Figura 1 representa um circuito de refrigeração tradicional com todos os componentes.

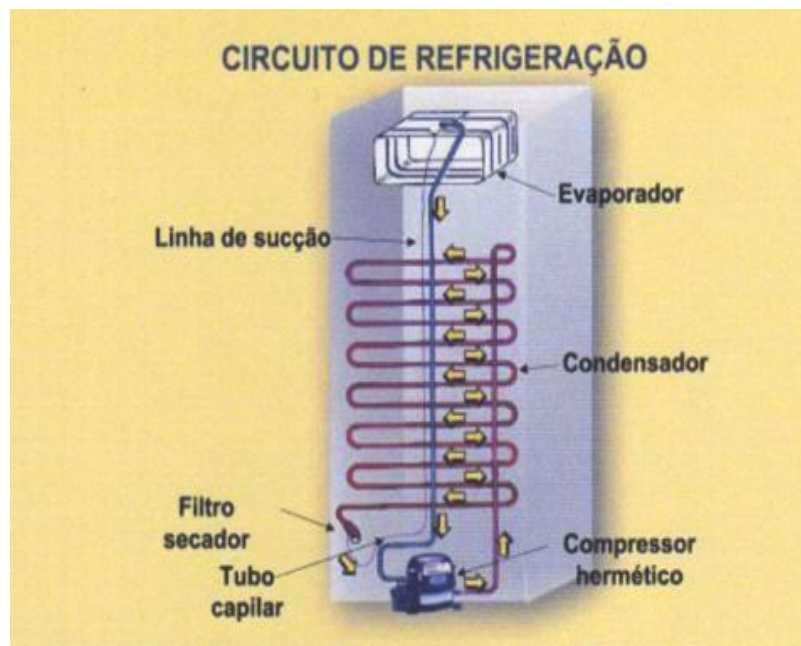


Figura 1 - Sistema de refrigeração.

Fonte: Refrigeração (2011)

2.1 COMPRESSORES

2.1.1. Compressor alternativo

Os compressores dessa categoria possuem um pistão que executa movimentos alternados que sobe e desce ou vai e vem. Quando o pistão desce faz a placa de válvula de sucção abrir e a placa de válvula de descarga fechar, a pressão no cilindro nesse momento é menor que na linha de sucção, então o fluido entra no cilindro. Quando o pistão sobe, faz a placa de válvula de descarga abrir e a placa de válvula de sucção fechar, a pressão no interior do cilindro nesse momento é maior que na linha de descarga, então o fluido sai do interior do cilindro.

O virabrequim gira, e com o auxílio da biela move o pistão com movimentos alternados, daí o nome de compressor alternativo, na Figura 2 esta representado o sistema do compressor alternativo.

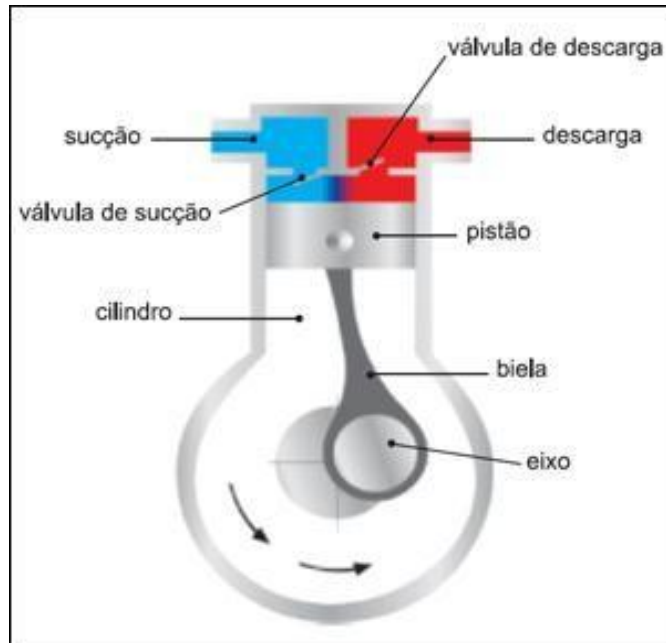


Figura 2 - Compressor alternativo.

Fonte: DIAS (2008)

2.1.2 COMPRESSOR ROTATIVO

O compressor rotativo pode ser do tipo de palhetas simples ou de múltiplas palhetas. No compressor de palheta simples ou de pistão rolante o eixo do motor é excêntrico ao rotor, de modo que a compressão se dá pela formação de duas câmaras, uma de sucção e outra de descarga, divididas por uma palheta simples atuada por uma mola. A compressão se dá com a redução do volume da câmara de descarga pelo rotor. Já o compressor rotativo de palhetas múltiplas tem o mesmo tipo de disposição do rotor em relação ao cilindro de compressão, porém nesse caso, as lâminas formam diversas câmaras de compressão, conforme ilustra a Figura 3.

Nesses compressores, quando o rotor gira, o espaço de compressão é gradualmente reduzido e o gás preso é comprimido. Quando o espaço atinge o ponto mínimo (a janela de descarga do cilindro), o fluido na fase de vapor é forçado para a tubulação de descarga. Os compressores rotativos apresentam menor

vibração durante seu funcionamento e desta forma são mais utilizados em situações onde o baixo nível de ruído é fundamental (SILVA 2004, p.114).

Conforme Silva (2007), estes compressores apresentam maior temperatura que os alternativos, devido ao seu sistema de compressão excêntrico.

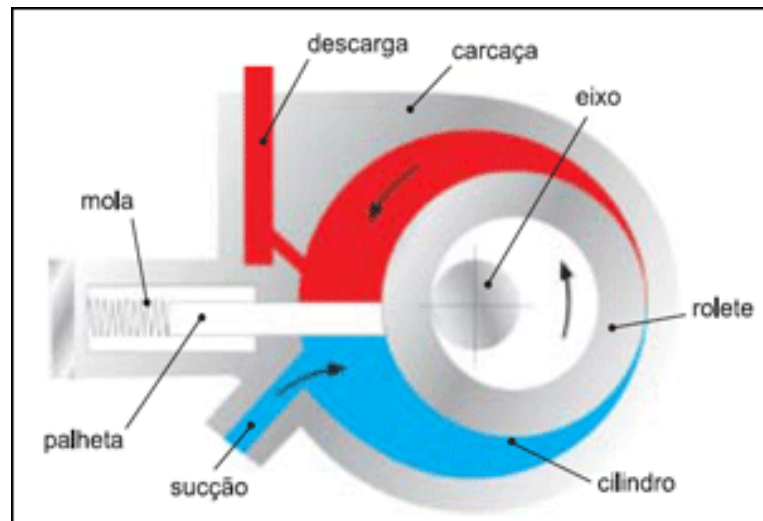


Figura 3 - Compressor rotativo.

Fonte: DIAS (2008)

2.2 DISPOSITIVOS DE EXPANSÃO

2.2.1 Tubo Capilar

Este é o mais simples dispositivo de expansão, pois o fluido refrigerante perde pressão quando entra em atrito com sua parede interna que em geral apresenta 0,6 mm de diâmetro interno. Ele une a linha de alta pressão à de baixa pressão. Seu comprimento é determinado pelo tipo de refrigerante e da relação de compressão do sistema, conforme Figura 4.

A grande vantagem do tubo capilar é necessitar de um torque menor durante a partida do compressor, pois quando o sistema desliga há uma equalização de pressão (SILVA 2004, p.129).



Figura 4 - Tubo capilar.

2.2.2 Válvula de Expansão Termostática

Esta válvula, representada na figura 5, regula a entrada do fluido refrigerante no evaporador e o controla em função do superaquecimento do refrigerante.

A válvula é formada de um elemento termostático separado do corpo por uma membrana. O elemento está em contacto com um bulbo através de um tubo capilar, um corpo de válvula e uma mola.



Figura 5 - Válvula expansão direta.

2.3 CONDENSADOR

Os condensadores são equipamentos que tem a função de liberar o calor absorvido pelo fluido refrigerante no evaporador e no compressor. Desta forma o fluido refrigerante que se encontra no estado gasoso se transforma em líquido. Na bancada de testes é utilizado um condensador a ar com convecção forçada, conforme Figura 6.

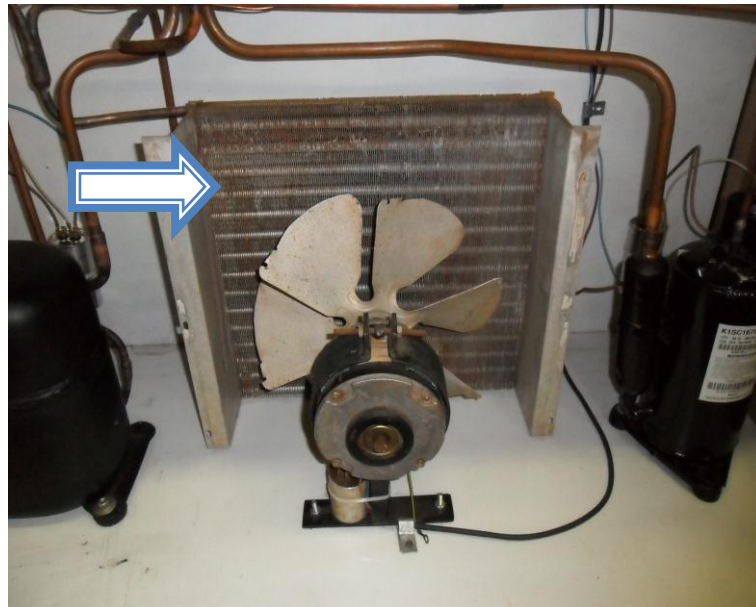


Figura 6 - Condensador.

Na refrigeração doméstica os condensadores mais usados são de circulação natural de ar (convecção natural), já na linha de refrigeração e climatização comercial, câmaras frigoríficas, centrais de ar condicionado e centrais de água gelada, os condensadores recebem a circulação forçada do ar por meio de um moto ventilador (convecção forçada), Os condensadores utilizam aletas para melhorar a transferência de calor entre o fluido refrigerante e o ar SILVA 2007, p.76).

2.4 EVAPORADOR

O evaporador, figura 7, tem como função a absorção do calor interno de um ambiente ou de um alimento. O fluido refrigerante que sai do dispositivo de expansão e entra no evaporador se encontra no estado líquido a baixa temperatura. Quando entra em contato com o calor do ambiente muda de estado físico e evapora.

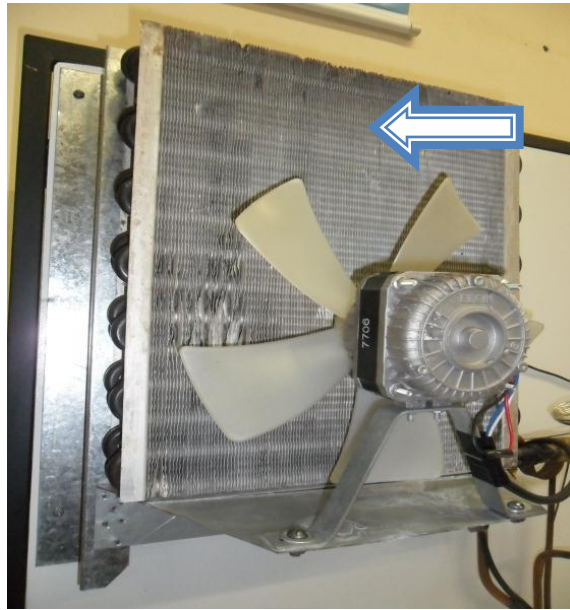


Figura 7 - Evaporador.

2.5 TERMÔMETRO

Os termômetros digitais em geral podem ter aplicação industrial ou não, para monitoração constante e precisa das temperaturas de determinados equipamentos que sejam esses sensíveis a alterações de seu funcionamento.

Termômetros digitais por contato, utilizam pontas sensoras, geralmente intercambiáveis, diferentes para cada aplicação, conforme figura 8.

2.6 MANÔMETROS

Manômetro, representado na Figura 8. É um instrumento utilizado para medir a pressão de fluidos contidos em recipientes fechados.

Salienta Silva (2007) que manômetros medem pressões acima da pressão da atmosfera, e que pressões abaixo a da atmosfera são conhecidas como vácuo.

Um sistema de refrigeração divide-se em duas partes, de acordo com a pressão exercida. A parte de baixa pressão consiste do evaporador e tubo de sucção, chamada “pressão de sucção” ou “pressão do evaporador”.

O lado de alta pressão, ou o “lado de alta” do sistema, consiste de linha de descarga, condensador e linha de líquido. Essa pressão denomina-se “pressão de condensação” ou “pressão de descarga”.



Figura 8 - Manômetros de alta e baixa e termômetros digitais.

3 FUNCIONAMENTO DA BANCADA

A bancada de testes utilizada neste trabalho está mostrada na Figura 9.



Figura 9 - Bancada de testes.

Conforme ilustra a Figura 10, para colocar a bancada em funcionamento é necessário acionar a **chave geral** (CH0), energizando assim a bancada e também as demais chaves de seleção da configuração requerida.

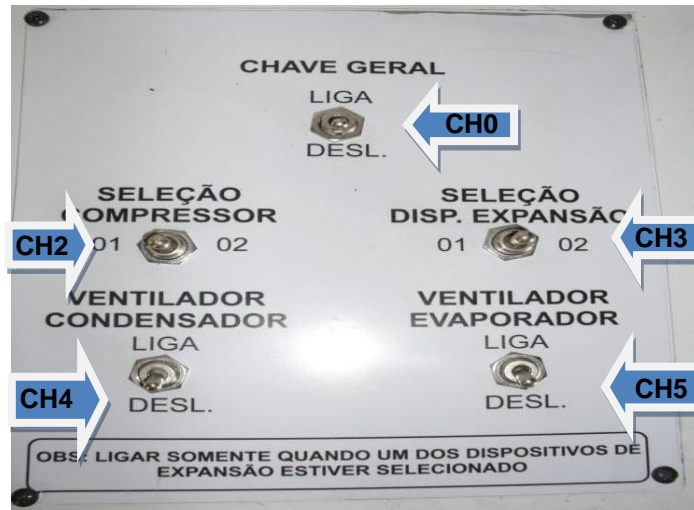


Figura 10 - Painel de comando.

A chave de **seleção do compressor** (CH2) tem a função de selecionar o compressor. Na posição 1 seleciona-se o alternativo e na posição 2 rotativo.

A chave de **seleção do dispositivo de expansão** (CH3) tem a função de selecionar na posição 1 o tubo capilar e na posição 2 válvula de expansão.

A chave de seleção do **ventilador do condensador** (CH4) tem a função de ligar ou desligar o ventilador do condensador.

A chave de seleção do **ventilador do evaporador** (CH5) tem a função de ligar ou desligar o ventilador do evaporador.

As chaves CH2 e CH3 são interruptores unipolares de três posições e as chaves CH1, CH4 e CH5 são interruptores unipolares de duas posições.

3.1 PONTOS DE MEDIÇÃO

A figura 11, indica os pontos onde os manômetros e os termômetros estão instalados na bancada.

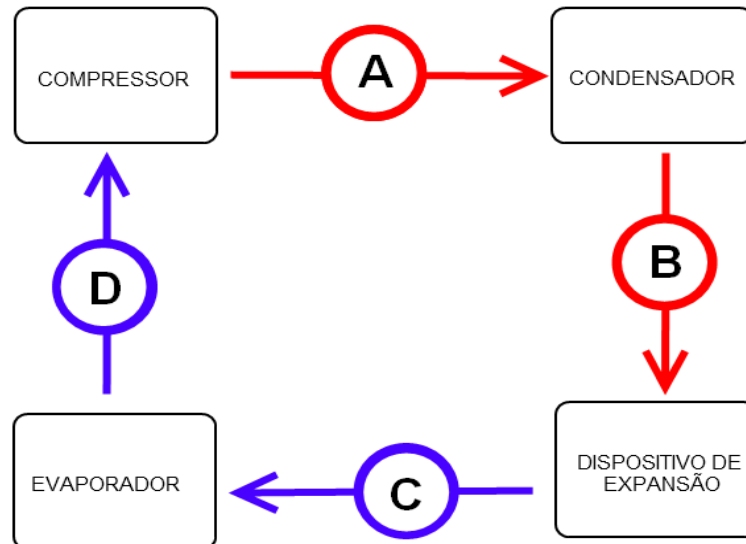


Figura 11 - Ligação dos manômetros.

Os manômetros A e B são os de alta pressão, e os C e D são os de baixa pressão. Os termômetros estão ligados nos mesmos pontos dos manômetros.

A corrente elétrica é medida com o auxílio de um alicate amperímetro.

4 TESTES REALIZADOS

A seguir são apresentados os testes realizados na bancada e seus respectivos resultados.

Os dados para os testes foram obtidos através da leitura dos termômetros e manômetros, com o apoio do software, Computer-Aided Thermodynamic Tables, Figura 12. Com o software obteve-se as entalpias e entropias para a elaboração dos gráficos de comparativo do ciclo real com o ciclo de Carnot (ciclo ideal).

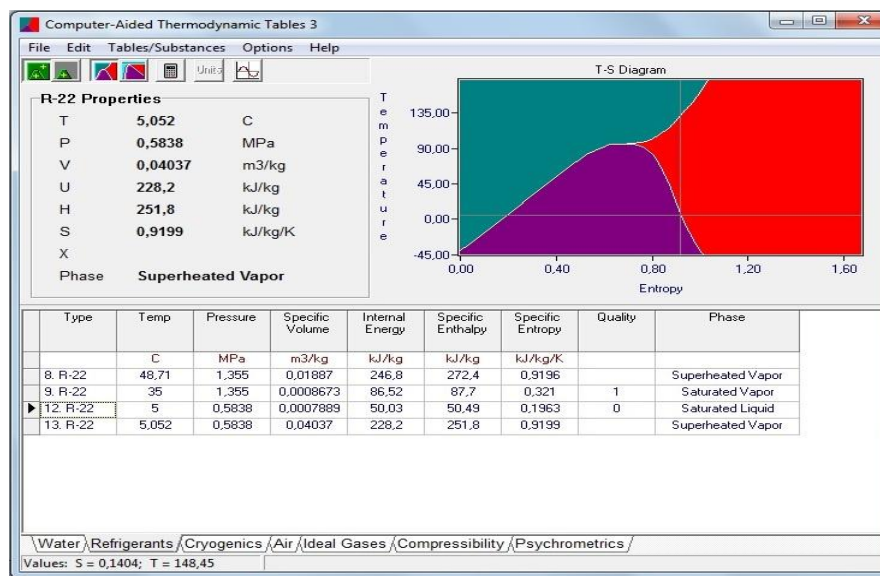


Figura 12 - Computer-Aided Thermodynamic Tables

O COP real obtido em cada teste será comparado ao COP de Carnot. O COP de Carnot é assim conhecido, pois Nicolas Carnot (1796-1832) propôs uma máquina térmica teórica que se comportava como uma máquina de rendimento máximo quando operava entre duas temperaturas distintas.

Neste trabalho, para o cálculo do COP de Carnot (ideal) utilizou-se as condições de temperatura da evaporação de +5°C e temperatura de condensação de +35°C.

O COP de Carnot é calculado de acordo com a equação 01.

$$\frac{T_{\text{evaporação}} = +5^{\circ}\text{C}}{T_{\text{condensação}} = +35^{\circ}\text{C}} \quad \text{COP}_{\text{Carnot}} = \frac{(5 + 273)}{(35 + 273) - (5 + 273)} \quad \text{COP}_{\text{Carnot}} = 9,26 \quad (01)$$

4.1 TESTE 1

Neste teste foi utilizado:

- O fluido R22;
- O tubo capilar;
- O compressor alternativo.

Etapas para a execução do teste:

- 1°) Carregar o sistema com 1,2kg de fluido refrigerante R22.
- 2°) Verificar se todos os interruptores estão na posição desligado. No caso dos compressores e dispositivos de expansão o interruptor deve estar na posição central.
- 3°) Verificar se as pressões e temperaturas estão equalizadas.
- 4°) Selecionar o dispositivo de expansão 1 (tubo capilar).
- 5°) Selecionar o compressor 1 (compressor alternativo).
- 6°) Ligar a chave geral.
- 7°) Ligar o ventilador do evaporador e do condensador.
- 8°) Deixar a bancada funcionar por 10 minutos.
- 9°) Executar a leitura dos instrumentos.
- 10°) Após a leitura dos instrumentos deve-se desligar a bancada, colocando todos os interruptores na posição desligado.
- 11°) Deve-se esperar a equalização das pressões e temperaturas antes de iniciar uma nova experiência.

Na tabela 1 mostra-se as propriedades termodinâmicas obtidas dos pontos A,B,C e D para o teste 1.

Tabela 1: Resultado do Teste 01

	Temperatura (°C)	Pressão (MPa)	Entalpia (h)	Entropia (s)	Corrente (A)	COP (Carnot)	COP (Sistema)
Ponto (A)	75	1,66	290	0,9581	3,7	9,26	5,75
Ponto (B)	40,3	1,56	94	0,3429			
Ponto (C)	2,34	0,54	47	0,185			
Ponto (D)	7	0,51	254	0,9421			

O COP real é calculado de acordo com a equação (02).

$$COP = \frac{HD - HC}{HA - HD} = \frac{254 - 47}{290 - 254} = \frac{207}{36} = 5,75 \quad (02)$$

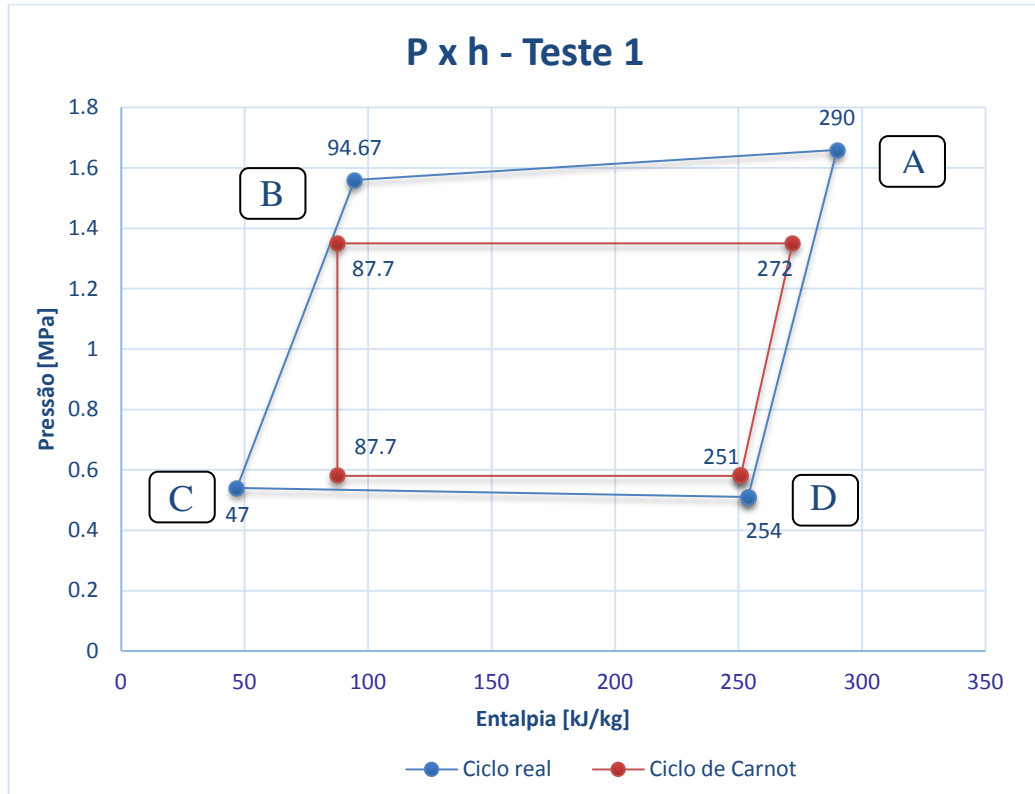


Gráfico 1 - Ciclo de refrigeração real e de Carnot para o teste 1.

A eficiência térmica para este teste pode ser feita utilizando a equação (03).

$$\varepsilon = \frac{COP_{real}}{COP_{ideal}} \times 100 = \frac{5,75}{9,26} \times 100 = 62,09\% \quad (03)$$

4.2 TESTE 2

Neste teste foi utilizado:

- O fluido R22;
- O tubo capilar;
- O compressor rotativo.

Etapas para a execução do teste:

- 1º) Carregar o sistema com 1,2kg de fluido refrigerante R22.
- 2º) Verificar se todos os interruptores estão na posição desligado. No caso dos compressores e dispositivos de expansão o interruptor deve estar na posição central.
- 3º) Verificar se as pressões e temperaturas estão equalizadas.
- 4º) Selecionar o dispositivo de expansão 1 (tubo capilar).
- 5º) Selecionar o compressor 2 (compressor rotativo).
- 6º) Ligar a chave geral.
- 7º) Ligar o ventilador do evaporador e do condensador.
- 8º) Deixar a bancada funcionar por 10 minutos.
- 9º) Executar a leitura dos instrumentos.
- 10º) Após a leitura dos instrumentos deve-se desligar a bancada, colocando todos os interruptores na posição desligado.
- 11º) Deve-se esperar a equalização das pressões e temperaturas antes de iniciar uma nova experiência.

Na tabela 2 mostra-se as propriedades termodinâmicas obtidas dos pontos A,B,C e D para o teste 2.

Tabela 2: Resultado do Teste 02

	Temperatura (°C)	Pressão (MPa)	Entalpia (h)	Entropia (s)	Corrente (A)	COP (Carnot)	COP (Sistema)
Ponto (A)	72	2,20	280	0,9054	3,5	9,26	8,32
Ponto (B)	35,3	2,00	88	0,3223			
Ponto (C)	2,2	0,55	47	0,1844			
Ponto (D)	5,4	0,42	255	0,9615			

O COP real é calculado de acordo com a equação (04).

$$\text{COP} = \frac{HD - HC}{HA - HD} = \frac{255 - 47}{280 - 255} = \frac{208}{25} = 8,32 \quad (04)$$

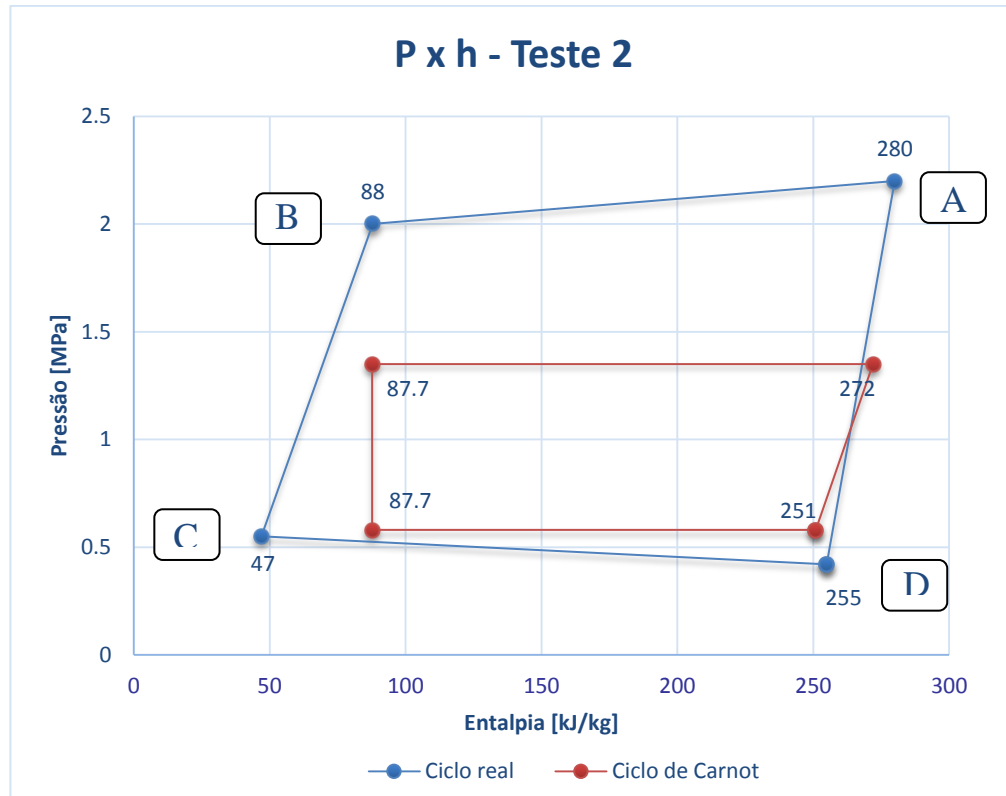


Gráfico 2 - Ciclo de refrigeração real e de Carnot para o teste 2.

A eficiência térmica para este teste pode ser feita utilizando a equação (05)

$$\varepsilon = \frac{COP_{real}}{COP_{ideal}} \times 100 = \frac{8,32}{9,26} \times 100 = 89,84\% \quad (05)$$

4.3 TESTE 3

Neste teste foi utilizado:

- O fluido R22;
- O válvula de expansão;
- O compressor alternativo.

Etapas para a execução do teste:

- 1º) Carregar o sistema com 1,2kg de fluido refrigerante R22.
- 2º) Verificar se todos os interruptores estão na posição desligado. No caso dos compressores e dispositivos de expansão o interruptor deve estar na posição central.

- 3°) Verificar se as pressões e temperaturas estão equalizadas.
- 4°) Selecionar o dispositivo de expansão 2 (válvula de expansão).
- 5°) Selecionar o compressor 1 (compressor alternativo).
- 6°) Ligar a chave geral.
- 7°) Ligar o ventilador do evaporador e do condensador.
- 8°) Deixar a bancada funcionar por 10 minutos.
- 9°) Executar a leitura dos instrumentos.
- 10°) Após a leitura dos instrumentos deve-se desligar a bancada, colocando todos os interruptores na posição desligado.
- 11°) Deve-se esperar a equalização das pressões e temperaturas antes de iniciar uma nova experiência.

Na tabela 3 mostra-se as propriedades termodinâmicas obtidas dos pontos A,B,C e D para o teste 3.

Tabela 3: Resultado do Teste 03

	Temperatura (°C)	Pressão (MPa)	Entalpia (h)	Entropia (s)	Corrente (A)	COP (Carnot)	COP (Sistema)
Ponto (A)	69,7	1,80	284	0,933	3,8	9,26	7,77
Ponto (B)	43,3	1,73	98	0,3554			
Ponto (C)	2,38	0,54	47	0,1852			
Ponto (D)	9	0,43	257	0,9678			

O COP real é calculado de acordo com a equação (06).

$$\text{COP} = \frac{HD - HC}{HA - HD} = \frac{257 - 47}{284 - 257} = \frac{210}{27} = 7,77 \quad (06)$$

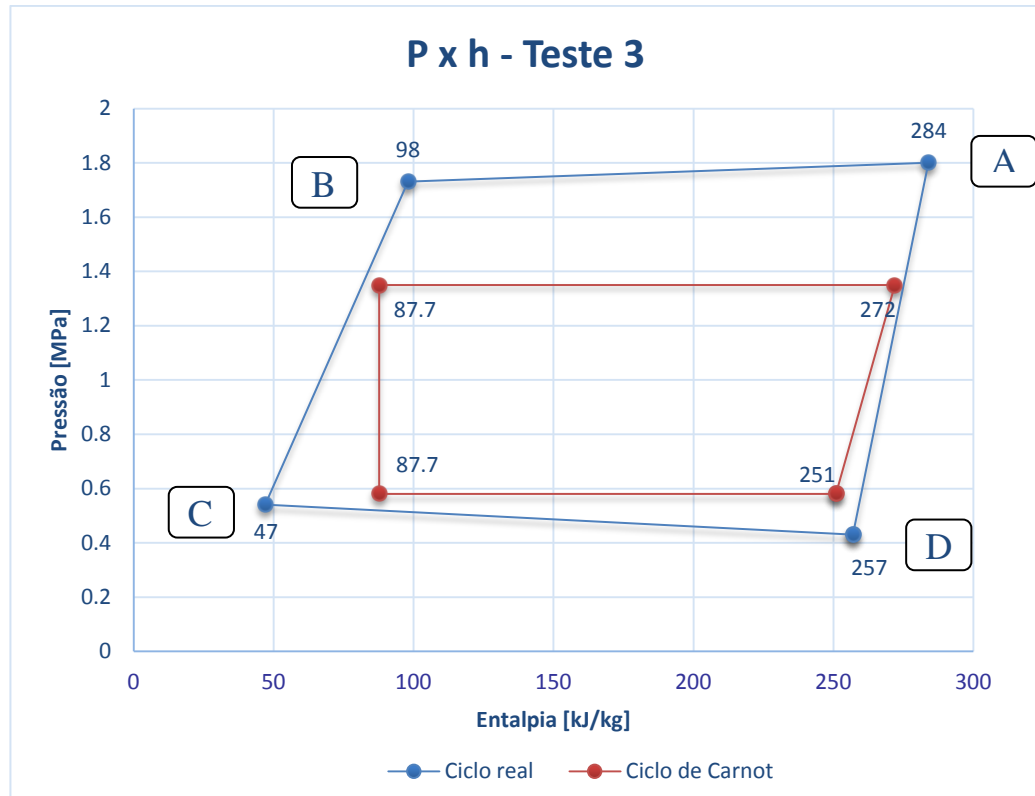


Gráfico 3 - Ciclo de refrigeração real e de Carnot para o teste 3.

A eficiência térmica para este teste pode ser feita utilizando a equação (07).

$$\varepsilon = \frac{COP_{real}}{COP_{ideal}} \times 100 = \frac{7,77}{9,26} \times 100 = 83,90\% \quad (07)$$

4.4 TESTE 4

Neste teste foi utilizado:

- O fluido R22;
- O válvula de expansão;
- O compressor rotativo.

Etapas para a execução do teste:

- 1º) Carregar o sistema com 1,2kg de fluido refrigerante R22.
- 2º) Verificar se todos os interruptores estão na posição desligado. No caso dos compressores e dispositivos de expansão o interruptor deve estar na posição central.

3°) Verificar se as pressões e temperaturas estão equalizadas.

4°) Selecionar o dispositivo de expansão 2 (válvula de expansão).

5°) Selecionar o compressor 2 (compressor rotativo).

6°) Ligar a chave geral.

7°) Ligar o ventilador do evaporador e do condensador.

8°) Deixar a bancada funcionar por 10 minutos.

9°) Executar a leitura dos instrumentos.

10°) Após a leitura dos instrumentos deve-se desligar a bancada, colocando todos os interruptores na posição desligado.

11°) Deve-se esperar a equalização das pressões e temperaturas antes de iniciar uma nova experiência.

Na tabela 4 mostra-se as propriedades termodinâmicas obtidas dos pontos A,B,C e D para o teste 4.

Tabela 4: Resultado do Teste 04

	Temperatura (°C)	Pressão (MPa)	Entalpia (h)	Entropia (s)	Corrente (A)	COP (Carnot)	COP (Sistema)
Ponto (A)	80,8	2,41	285	0,9143	3,7	9,26	8,19
Ponto (B)	48,9	2,34	106	0,3786			
Ponto (C)	1,94	0,57	46	0,1833			
Ponto (D)	12	0,46	259	0,9673			

O COP real é calculado de acordo com a equação (08).

$$\text{COP} = \frac{HD - HC}{HA - HD} = \frac{259 - 46}{285 - 259} = \frac{213}{26} = 8,19 \quad (08)$$

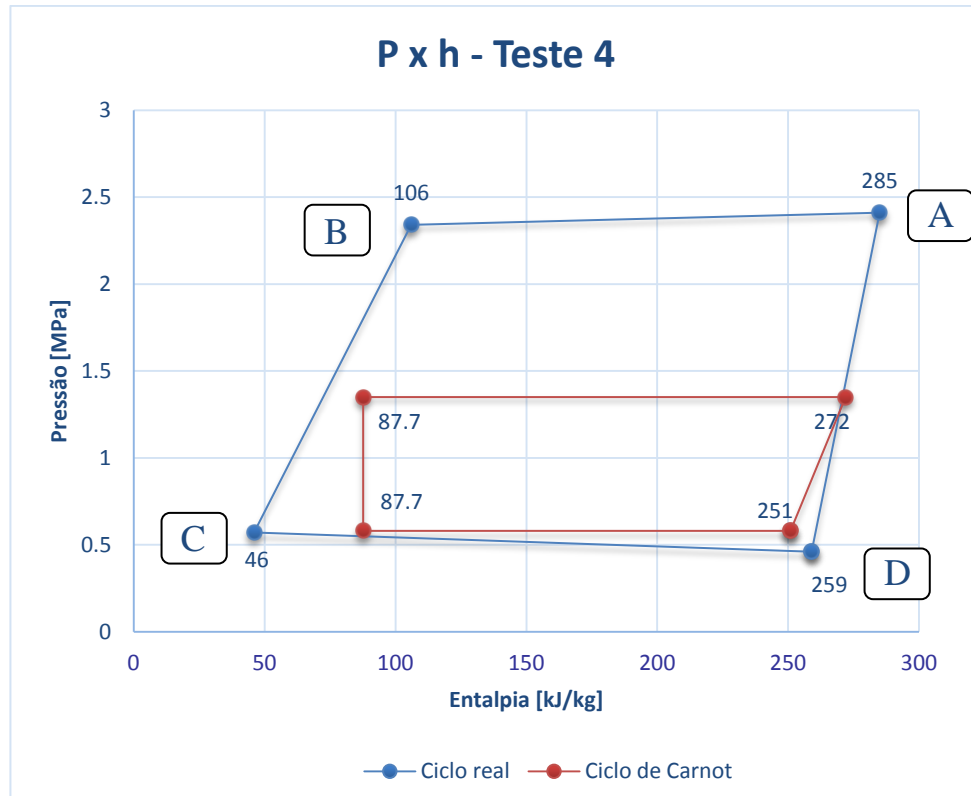


Gráfico 4 - Ciclo de refrigeração real e de Carnot para o teste 4.

A eficiência térmica para este teste pode ser feita utilizando a equação (09).

$$\varepsilon = \frac{COP_{real}}{COP_{ideal}} \times 100 = \frac{8,19}{9,26} \times 100 = 88,44\% \quad (09)$$

4.5 TESTE 5

Neste teste foi utilizado:

- O fluido R404a;
- O tubo capilar;
- O compressor alternativo.

Etapas para a execução do teste:

1º) Carregar o sistema com 1,2kg de fluido refrigerante R404a.

2°) Verificar se todos os interruptores estão na posição desligado. No caso dos compressores e dispositivos de expansão o interruptor deve estar na posição central.

3°) Verificar se as pressões e temperaturas estão equalizadas.

4°) Selecionar o dispositivo de expansão 1 (tubo capilar).

5°) Selecionar o compressor 1 (compressor alternativo).

6°) Ligar a chave geral.

7°) Ligar o ventilador do evaporador e do condensador.

8°) Deixar a bancada funcionar por 10 minutos.

9°) Executar a leitura dos instrumentos.

10°) Após a leitura dos instrumentos deve-se desligar a bancada, colocando todos os interruptores na posição desligado.

11°) Deve-se esperar a equalização das pressões e temperaturas antes de iniciar uma nova experiência.

Na tabela 5 mostra-se as propriedades termodinâmicas obtidas dos pontos A,B,C e D para o teste 5.

Tabela 5: Resultado do Teste 05

	Temperatura (°C)	Pressão (MPa)	Entalpia (h)	Entropia (s)	Corrente (A)	COP (Carnot)	COP (Sistema)
Ponto (A)	71,3	2,85	254	0,8317	3,7	9,26	5,82
Ponto (B)	32	2,72	99	0,3613			
Ponto (C)	2,34	0,66	56	0,2192			
Ponto (D)	4,8	0,51	225	0,8522			

O COP real é calculado de acordo com a equação (10).

$$\text{COP} = \frac{HD - HC}{HA - HD} = \frac{225 - 56}{254 - 225} = \frac{169}{29} = 5,82 \quad (10)$$

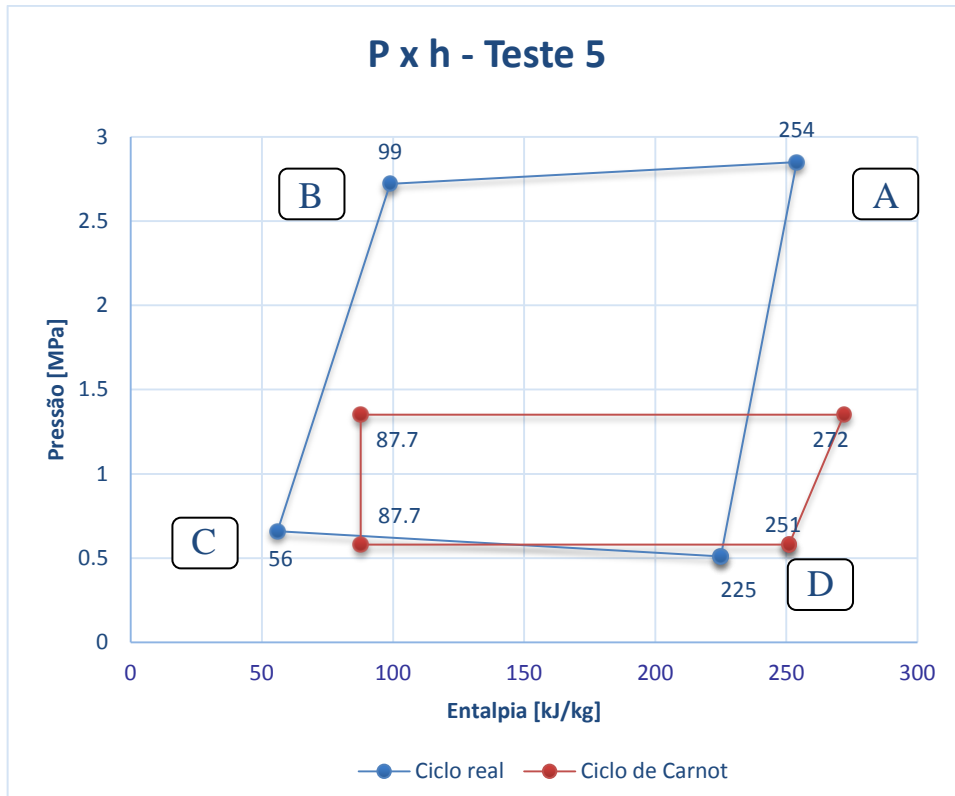


Gráfico 5 - Ciclo de refrigeração real e de Carnot para o teste 5.

A eficiência térmica para este teste pode ser feita utilizando a equação (11).

$$\varepsilon = \frac{COP_{real}}{COP_{ideal}} \times 100 = \frac{5,82}{9,26} \times 100 = 62,85\% \quad (11)$$

4.6 TESTE 6

Neste teste foi utilizado:

- O fluido R404a;
- O tubo capilar;
- O compressor rotativo.

Etapas para a execução do teste:

- 1º) Carregar o sistema com 1,2kg de fluido refrigerante R404a.
- 2º) Verificar se todos os interruptores estão na posição desligado. No caso dos compressores e dispositivos de expansão o interruptor deve estar na posição central.

- 3°) Verificar se as pressões e temperaturas estão equalizadas.
- 4°) Selecionar o dispositivo de expansão 1 (tubo capilar).
- 5°) Selecionar o compressor 2 (compressor rotativo).
- 6°) Ligar a chave geral.
- 7°) Ligar o ventilador do evaporador e do condensador.
- 8°) Deixar a bancada funcionar por 10 minutos.
- 9°) Executar a leitura dos instrumentos.
- 10°) Após a leitura dos instrumentos deve-se desligar a bancada, colocando todos os interruptores na posição desligado.
- 11°) Deve-se esperar a equalização das pressões e temperaturas antes de iniciar uma nova experiência.

Na tabela 6 mostra-se as propriedades termodinâmicas obtidas dos pontos A,B,C e D para o teste 6.

Tabela 6: Resultado do Teste 06

	Temperatura (°C)	Pressão (MPa)	Entalpia (H)	Entropia (S)	Corrente (A)	COP (Carnot)	COP (Sistema)
Ponto (A)	96,1	3,41	280	0,8964	4,7	9,26	3,09
Ponto (B)	35,1	3,26	103	0,3744			
Ponto (C)	2,06	0,66	55	0,2178			
Ponto (D)	3,4	0,46	225	0,8593			

O COP real é calculado de acordo com a equação (12).

$$\text{COP} = \frac{HD - HC}{HA - HD} = \frac{225 - 55}{280 - 225} = \frac{170}{55} = 3,09 \quad (12)$$

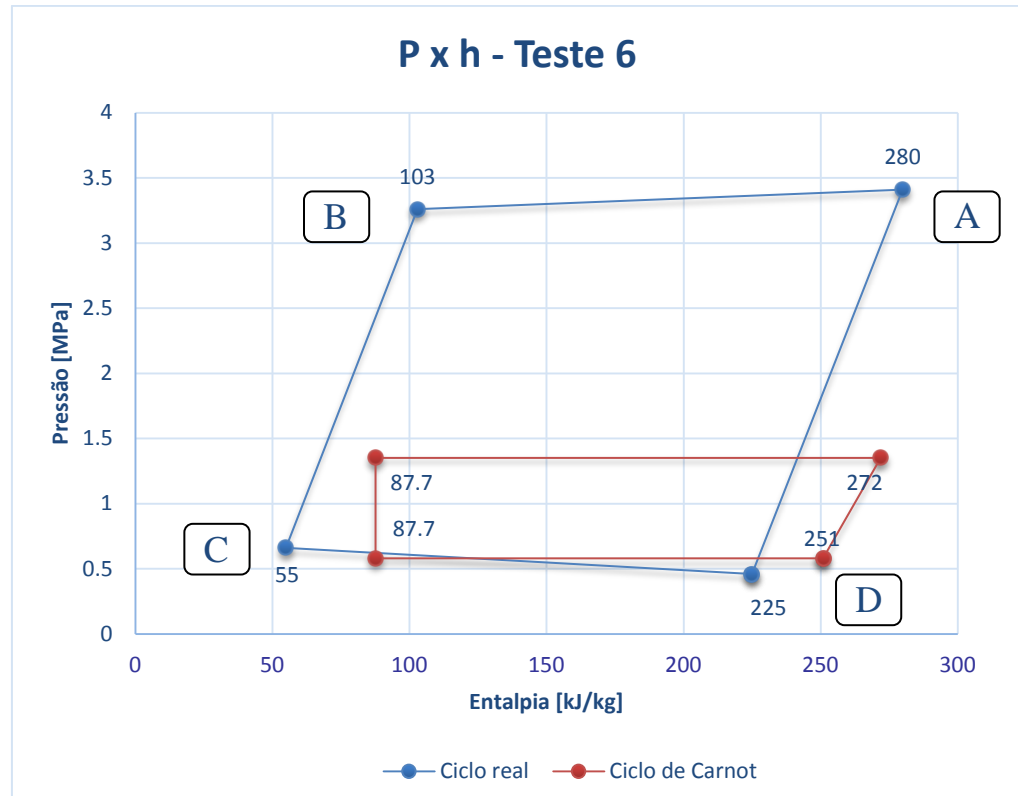


Gráfico 6 - Ciclo de refrigeração real e de Carnot para o teste 6.

A eficiência térmica para este teste pode ser feita utilizando a equação (13).

$$\varepsilon = \frac{COP_{real}}{COP_{ideal}} \times 100 = \frac{3,09}{9,26} \times 100 = 33,36\% \quad (13)$$

4.7 TESTE 7

Neste teste foi utilizado:

- O fluido R404a;
- Válvula de expansão;
- O compressor alternativo.

Etapas para a execução do teste:

1º) Carregar o sistema com 1,2kg de fluido refrigerante R404a.

2°) Verificar se todos os interruptores estão na posição desligado. No caso dos compressores e dispositivos de expansão o interruptor deve estar na posição central.

3°) Verificar se as pressões e temperaturas estão equalizadas.

4°) Selecionar o dispositivo de expansão 2 (válvula de expansão).

5°) Selecionar o compressor 1 (compressor alternativo).

6°) Ligar a chave geral.

7°) Ligar o ventilador do evaporador e do condensador.

8°) Deixar a bancada funcionar por 10 minutos.

9°) Executar a leitura dos instrumentos.

10°) Após a leitura dos instrumentos deve-se desligar a bancada, colocando todos os interruptores na posição desligado.

11°) Deve-se esperar a equalização das pressões e temperaturas antes de iniciar uma nova experiência.

Na tabela 7 mostra-se as propriedades termodinâmicas obtidas dos pontos A,B,C e D para o teste 7.

Tabela 7: Resultado do Teste 07

	Temperatura (°C)	Pressão (MPa)	Entalpia (h)	Entropia (s)	Corrente (A)	COP (Carnot)	COP (Sistema)
Ponto (A)	70,2	3,02	248	0,8105	3,8	9,26	7,39
Ponto (B)	43,2	2,85	117	0,4188			
Ponto (C)	1,62	0,71	55	0,2154			
Ponto (D)	8,2	0,66	225	0,8327			

O COP real é calculado de acordo com a equação (14).

$$\text{COP} = \frac{HD - HC}{HA - HD} = \frac{225 - 55}{248 - 225} = \frac{170}{23} = 7,39 \quad (14)$$

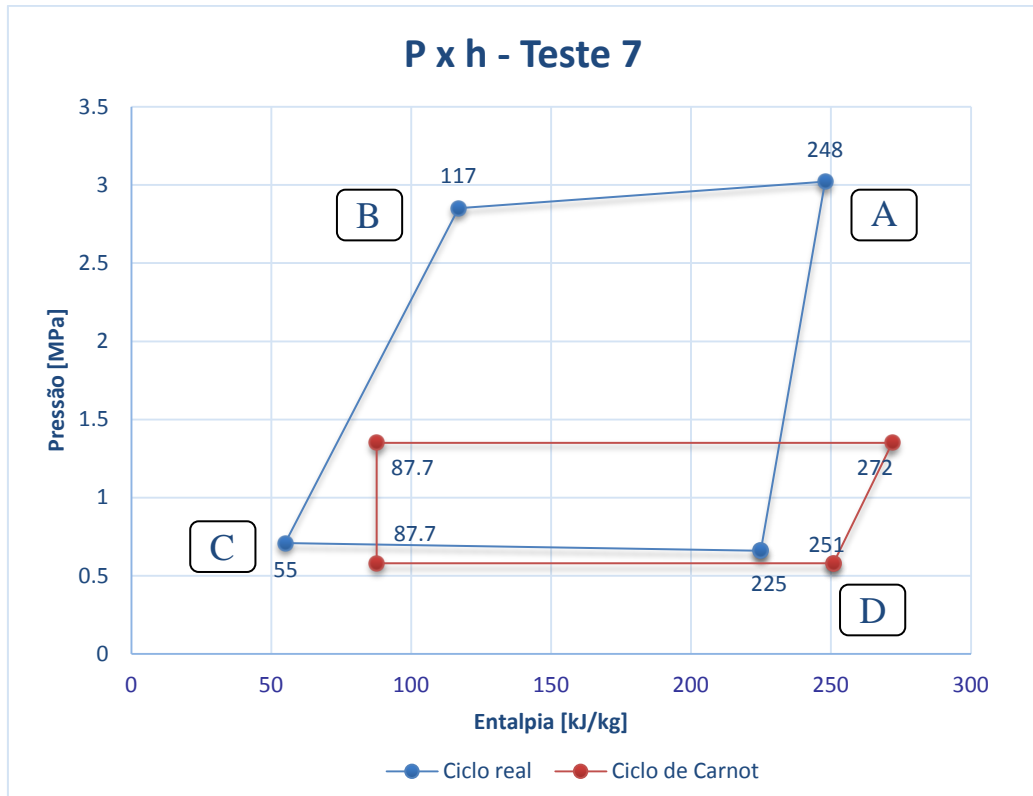


Gráfico 7 - Ciclo de refrigeração real e de Carnot para o teste 7.

A eficiência térmica para este teste pode ser feita utilizando a equação (15).

$$\varepsilon = \frac{COP_{real}}{COP_{ideal}} \times 100 = \frac{7,39}{9,26} \times 100 = 79,80\% \quad (15)$$

4.8 TESTE 8

Neste teste foi utilizado:

- O fluido R404a;
- Válvula de expansão;
- O compressor rotativo.

Etapas para a execução do teste:

- 1º) Carregar o sistema com 1,2kg de fluido refrigerante R404a.
- 2º) Verificar se todos os interruptores estão na posição desligado. No caso dos compressores e dispositivos de expansão o interruptor deve estar na posição central.

- 3°) Verificar se as pressões e temperaturas estão equalizadas.
- 4°) Selecionar o dispositivo de expansão 2 (válvula de expansão).
- 5°) Selecionar o compressor 2 (compressor rotativo).
- 6°) Ligar a chave geral.
- 7°) Ligar o ventilador do evaporador e do condensador.
- 8°) Deixar a bancada funcionar por 10 minutos.
- 9°) Executar a leitura dos instrumentos.
- 10°) Após a leitura dos instrumentos deve-se desligar a bancada, colocando todos os interruptores na posição desligado.
- 11°) Deve-se esperar a equalização das pressões e temperaturas antes de iniciar uma nova experiência.

Na tabela 8 mostra-se as propriedades termodinâmicas obtidas dos pontos A,B,C e D para o teste 8.

Tabela 8: Resultado do Teste 08

	Temperatura (°C)	Pressão (MPa)	Entalpia (h)	Entropia (s)	Corrente (A)	COP (Carnot)	COP (Sistema)
Ponto (A)	79,1	3,41	254	0,8216	5,4	9,26	8,04
Ponto (B)	44,3	3,29	118	0,4216			
Ponto (C)	1,9	0,71	55	0,2168			
Ponto (D)	13,6	0,57	232	0,8691			

O COP real é calculado de acordo com a equação (16).

$$\text{COP} = \frac{HD - HC}{HA - HD} = \frac{232 - 55}{254 - 232} = \frac{177}{22} = 8,04 \quad (16)$$

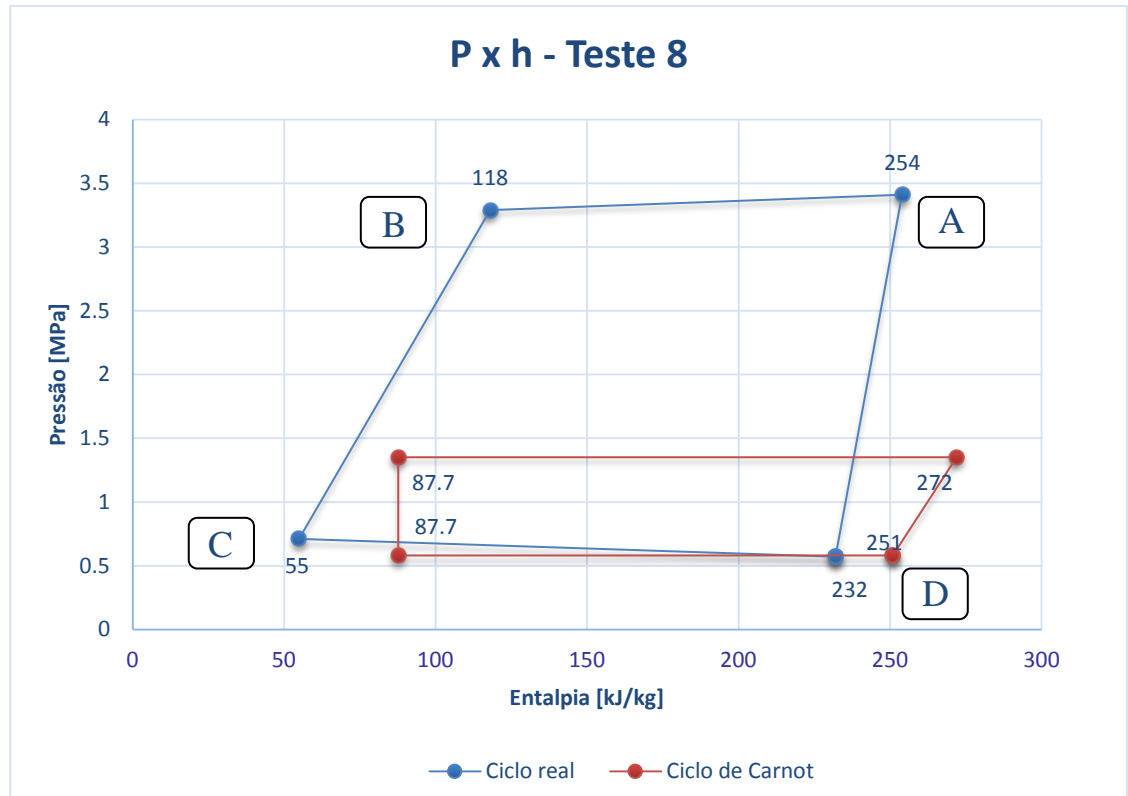


Gráfico 8 - Ciclo de refrigeração real e de Carnot para o teste 8.

A eficiência térmica para este teste pode ser feita utilizando a equação (17).

$$\varepsilon = \frac{COP_{real}}{COP_{ideal}} \times 100 = \frac{8,04}{9,26} \times 100 = 86,82\% \quad (17)$$

A tabela 09 mostra o resumo dos resultados dos testes.

Tabela 9: Resumo dos resultados dos testes

		COP ideal	COP real	Eficiência (%)
R22	Teste 01	9,26	5,75	62,09%
	Teste 02	9,26	8,23	89,84%
	Teste 03	9,26	7,77	83,90%
	Teste 04	9,26	8,19	88,44%
R404a	Teste 05	9,26	5,82	62,85%
	Teste 06	9,26	3,09	33,36%
	Teste 07	9,26	7,39	79,80%
	Teste 08	9,26	8,04	86,82%

5 CONCLUSÃO

Analisando os resultados dos testes usando o fluido R22, verificou-se que o sistema de refrigeração composto pelo compressor rotativo e o tubo capilar, teste 02, obteve o melhor desempenho 89,84% comparado ao ciclo de Carnot. O consumo de energia foi de 3,5A e a temperatura do fluido refrigerante R22 na entrada do evaporador é a menor (2,2 °C) comparada com os outros testes. Estes resultados indicam que, como o compressor é rotativo, com menor quantidade de peças móveis e, portanto com menores perdas por atrito, ele consome menos energia para realizar o mesmo trabalho.

Nos testes usando o fluido R404a e o compressor rotativo as pressões de condensação atingiram o final de escala dos manômetros de alta, não sendo possível fazer uma leitura correta para estes testes. Usando o compressor alternativo juntamente com a válvula de expansão, teste 07, obteve-se um desempenho de 79,80% comparado ao ciclo de Carnot.

Os testes realizados indicam que o uso do fluido R22, combinado com o tubo capilar e o compressor rotativo, apresentam o melhor desempenho. Os testes ainda indicaram que o uso do fluido R404a, combinado com o compressor alternativo e a válvula de expansão, apresentam o melhor desempenho.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIAS, T.H. **Desenvolvimento de uma bancada didática pedagógica para o estudo de psicometria.** <http://www.pucrs.br/feng/tcc/mecanica/2008_1_52_trabalho.pdf>. Acesso em 06 de junho de 2015 as 21:30.

PRATTS, R. L.; **Melhoramentos de um sistema de resfriamento por absorção por água amônia, para fabricação de gelo.** Campinas, 1997. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas.

REIS 2005 **Modelagem, Simulação e otimização de uma unidade de aquecimento de água e refrigeração por absorção de alimentação híbrida a coletor solar e gás combustível** <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/149.pdf>>. Acesso em 08 de agosto de 2015.

REFRIGERAÇÃO, Portal da. **História da refrigeração.** Em <www.refrigeração.net>. Acesso em 10 de julho de 2015 às 21:20.

SILVA 2004 **Ciclos de Refrigeração: conceitos e estudos de eficiência.** <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/engenharias/Ciclos%20de%20refrigeracao.pdf>> Acesso em 10 de julho de 2015 as 20:00.

SILVA, J.C, CASTRO, A.C. **Refrigeração e climatização para técnicos e engenheiros** – Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda. 2007.