



XVI CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR
São Paulo Expo - 10 a 13 de setembro de 2019

A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA E SUA RELAÇÃO COM O DESEMPENHO TERMODINÂMICO DO CICLO DE REFRIGERAÇÃO¹

Fabio Pinto de Arruda, João Denis da Costa

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo quantificar os prejuízos causados pela falta da manutenção e higienização adequada de um sistema mecânico de refrigeração. Para fundamentar tal solução, se apoiou nos conceitos da termodinâmica e na análise do desempenho do ciclo básico de refrigeração e seus principais componentes. Para a realização do trabalho foi adotado o método experimental utilizando-se de uma bancada didática de refrigeração. Foram realizadas simulações de obstrução por sujidades e falhas em alguns componentes como ventilador, condensador e evaporador. A coleta dos dados contou com diversos recursos como *softwares*, planilhas e ferramentas específicas. Por meio da análise dos dados e dos ensaios realizados no equipamento, foram quantificados valores que demonstram as consequências das simulações de sujidade em vários estágios. Dentre os valores, destacam-se a variação no consumo de energia e da potência consumida em torno de 10%; aumento de 15% no gasto de energia; e a perda do rendimento do sistema termodinâmico devido a diminuição de 8,5% do Coeficiente de Performance (COP). Os resultados comprovam que a falta ou execução incorreta de manutenção, sem periodicidade e fora dos padrões especificados pelas recomendações do fabricante, normas e portarias, contribui também para causar prejuízos técnicos e financeiros.

Palavras-chave: Refrigeração. Manutenção. Quantificação de prejuízos.

ABSTRACT

The objective of this work was to quantify the losses caused by the lack of maintenance and proper hygiene of a mechanical refrigeration system. To substantiate this solution, it was supported in the concepts of thermodynamics and in the analysis of the performance of the basic refrigeration cycle and its main components. For the accomplishment of the work, the experimental method was adopted using a refrigeration didactic bench. Simulations of obstruction by dirt and failures in some components such as ventilator, condenser and evaporator were performed. Data collection included several features such as software, spreadsheets and specific tools. Through the analysis of data and tests carried out in the equipment, values that demonstrate the consequences of the simulations of dirt in various stages were quantified. Among the values, we highlight the variation in energy consumption and the power consumed around 10%; 15% increase in energy expenditure; And the loss of the thermodynamic system yield due to a decrease of 8.5% of the Performance coefficient (COP). The results prove that the lack or incorrect execution of maintenance, without periodicity and outside the standards specified by the manufacturer's recommendations, norms and ordinances, also contributes to cause technical and financial losses.

Keywords: Refrigeration. Maintenance. Quantification of losses.

¹ ARRUDA, Fabio Pinto de; COSTA, João Denis da. A importância da manutenção preventiva e sua relação com o desempenho termodinâmico do ciclo de refrigeração. In: Congresso Brasileiro de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação, Aquecimento e Tratamento de Ar, 3.; Congresso Ibero Americano de Climatização e Refrigeração, 16., 2019, São Paulo. **Anais...**

1 INTRODUÇÃO

A manutenção, segundo Kardec & Nascif (2012), é considerada como uma função estratégica para as empresas e, quando não executada periodicamente, acarreta uma série de prejuízos. Por exemplo, a manutenção corretiva (não planejada) gera um custo mais elevado do que a preventiva devido seu viés imediato, de urgência.

Por outro lado, o contratante do serviço de manutenção corretiva muitas vezes só terá ideia do elevado custo quando se deparar com tal situação. A falta de periodicidade num sistema de refrigeração tende a ocasionar a parada inesperada do equipamento, que por sua vez causa a perda de produtos e manutenções corretivas onerosas. Isso se deve, principalmente, ao valor agregado do custo embutido no pronto atendimento de profissionais especializados e, se for o caso, das despesas para reposição de peças.

Muitos prejuízos causados com a falta de manutenção nos sistemas de refrigeração acabam sendo difíceis de se mensurar porque são problemas que pouco interferem no funcionamento do equipamento e nos parâmetros normativos de conservação do produto. As falhas nos sistemas de refrigeração podem estar relacionadas à quantidade excessiva ou insuficiente de fluido, ao emprego de cargas térmicas incompatíveis com o sistema, falha de projetos, ou projetos mal elaborados, instalações fora dos critérios técnicos, e falta de manutenção adequada.

O fato relevante é que os componentes do ciclo de refrigeração podem trabalhar dentro das especificações de projeto, entretanto, o uso frequente na condição extrema de seus limites - devido as sujidades - reduz a eficiência do sistema. Qualitativamente contribui com a diminuição de sua vida útil e também ocasiona o aumento no consumo de energia elétrica.

Por meio da análise do Diagrama de Mollier ($P \times h$), que relaciona a pressão (P) e as entalpias (h) do ciclo de refrigeração, foi possível visualizar as alterações das propriedades físicas do sistema termodinâmico e a mudança dos valores mensurados na condição ideal comparados com uma simulação de sujidade na superfície das aletas dos trocadores de calor. Isso implica na modificação das condições de operação do sistema de refrigeração devido uma ineficiente transmissão de calor entre o ar e o fluido refrigerante e, como resultado, incorre numa alteração do Coeficiente de Performance (COP) do compressor.

Para comprovar e quantificar o(s) prejuízo(s) causado pela falta de manutenção foi realizado - na prática - um experimento que mostra a redução da capacidade da absorção de calor pelo trocador e, por consequência, o aumento do consumo de energia através do trabalho excessivo do compressor.

Desse modo, justifica-se a importância da realização dos procedimentos de manutenção, preventiva programada e preditiva, com a finalidade de se manter o sistema dentro das condições ideais de funcionamento e de se reduzir as manutenções corretivas.

2 OBJETIVO

Quantificar os prejuízos causados pela falta da manutenção e higienização adequada de um sistema mecânico de refrigeração.

3 JUSTIFICATIVAS

O sancionamento da Lei nº 13.589/2018, que determina a obrigatoriedade da implantação do Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC) reforça a importância do planejamento de manutenção para garantir a qualidade do ar interior de ambientes ocupados e, principalmente, minimizar ou prevenir os riscos à saúde dessas pessoas.

A Portaria nº 3523/1998, do Ministério da Saúde, estabelece os parâmetros específicos do PMOC para sistemas de condicionamento de ar, que acima de 60.000 BTU/h, devem manter um responsável técnico habilitado, cujas atribuições são: implantar e manter disponível o PMOC; garantir sua aplicação; manter disponíveis os registros e divulgar os procedimentos e resultados aos participantes (BRASIL, Portaria nº 3.523, 1998).

Além da preocupação com a saúde e o bem-estar dos ocupantes de ambientes condicionados, a manutenção preventiva também visa minimizar os prejuízos financeiros causados pelo consumo energético dos equipamentos e a diminuição gradativa de sua vida útil ao operar em condições extremas de funcionamento.

Segundo a ANEEL (2015), desde julho de 2015, as bandeiras tarifárias passaram a serem classificadas nas cores, verde, amarela, vermelha (patamar 1) e vermelha (patamar 2), respectivamente, da menor para a maior taxa de acréscimo. Com a escassez da água e as mudanças climáticas, a incidência da cor vermelha nas contas de energia tem se intensificado no cenário atual brasileiro.

Nesse sentido, a falta de manutenção preventiva contribui direta e indiretamente para o aumento efetivo do consumo de energia dos equipamentos. Sendo assim, este estudo procura demonstrar o quanto a periodicidade da manutenção pode contribuir para minimizar tais condições de consumo nos sistemas de refrigeração e climatização.

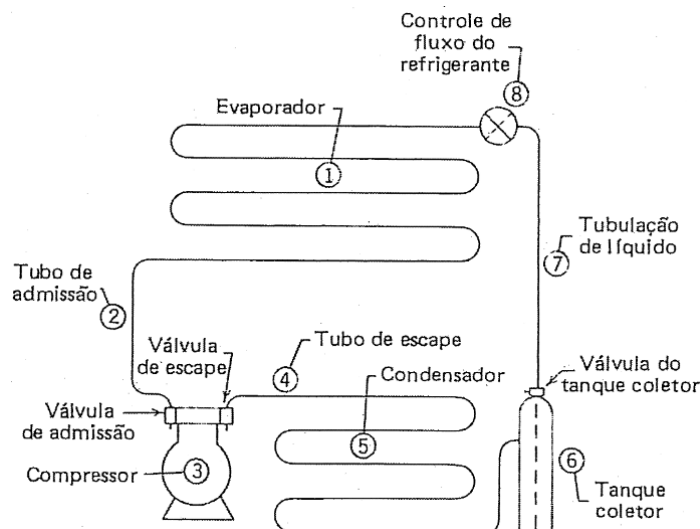
4 REFERENCIAL TEÓRICO

Para se compreender um problema causado pela falta de manutenção no sistema básico de refrigeração é necessário entender quais são e como estão interligados seus componentes. Também é preciso conhecer qual a função que cada um deles exerce para o ideal funcionamento de um sistema de compressão de vapor. Nesse sentido, se tem como condição fundamental a apropriação de alguns conceitos da termodinâmica para a análise do desempenho do ciclo de refrigeração, que neste artigo será explicitado por meio de um dos diagramas das propriedades termodinâmicas, mais especificamente conhecido como Diagrama de Mollier ($P \times h$), que relaciona a pressão (P) e a entalpia (h) do sistema.

4.1 Sistema simples de compressão de vapor

Segundo Dossat (2004) um sistema simples de compressão de vapor é representado no desenho de fluxograma - não projetivo - da Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma de um sistema simples de compressão de vapor



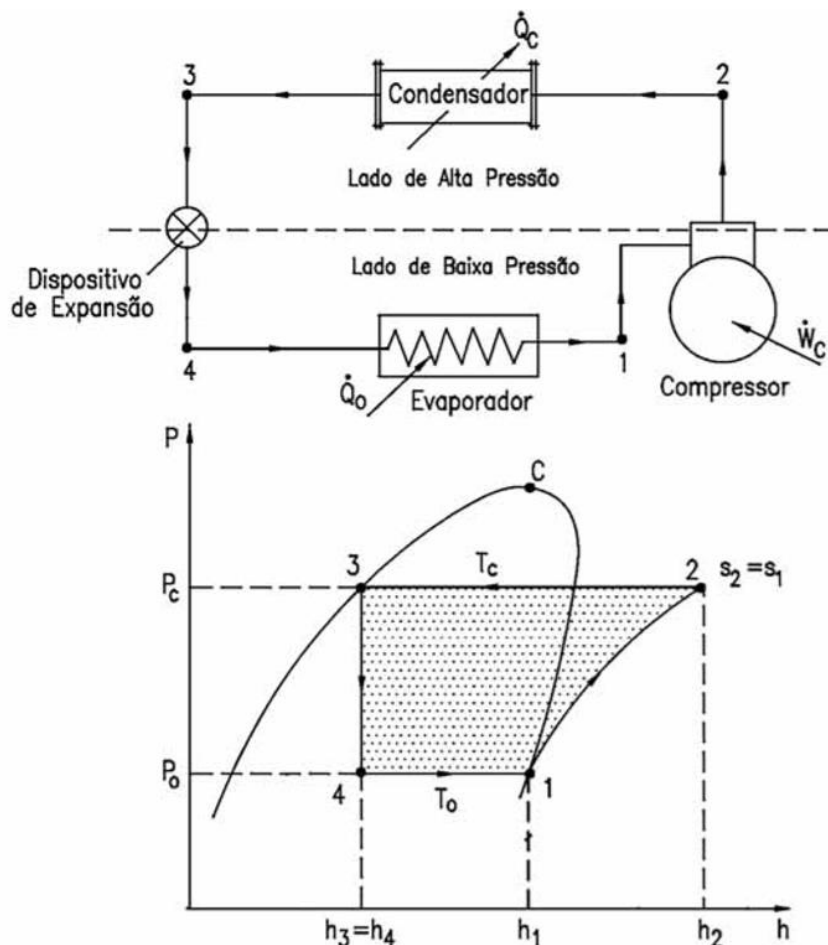
Fonte: Dossat (2004, p. 169)

O evaporador (1) por meio de sua superfície promove a transmissão de calor absorvido - pelo fluido refrigerante - do ar do ambiente ou do produto a ser resfriado. Ele percorre o tubo de admissão (2) porque é succionado pelo compressor (3). Ao ser comprimido, o fluido refrigerante se desloca pelo tubo de escape (4), agora com alta pressão e temperatura. Ao chegar no condensador (5) ele rejeita o calor absorvido para o ar do ambiente externo. Em seguida, o tanque coletor (6) assegura as condições do fluido refrigerante na forma líquido-saturado, ou sub-resfriado, seguindo para a tubulação de líquido (7). Passa pelo controle de fluxo do refrigerante (8), reduzindo a pressão e a temperatura e, assim se inicia um novo ciclo (DOSSAT, 2004).

4.2 Diagrama de Mollier (P x h) e o ciclo de refrigeração

O desempenho das propriedades termodinâmicas de um fluido refrigerante, acompanhado dos fenômenos da Ciência Física, como o calor e o trabalho, e sua combinação com um sistema frigorífico, pode ser melhor compreendido por meio de uma representação gráfica. Várias grandezas como temperatura, volume específico, pressão, entalpia específica, entre outras, podem ser analisadas por diagramas, no entanto, na área de refrigeração, o mais comum utilizado é o Diagrama de Mollier, que relaciona a Pressão absoluta (P) e entalpia específica (h) considerando um sistema de refrigeração e os seus componentes conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 2 - Ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor



Fonte: Venturini & Pirani (2005, p. 39)

Considerando os limites da produção textual deste artigo, será apresentada uma simples explicação do funcionamento do ciclo teórico de refrigeração e sua representação gráfica do processo de compressão de vapor ilustrado na Figura 2.

No trecho 1-2 ocorre o processo adiabático, onde o fluido refrigerante entra no compressor à pressão de vapor saturado, é comprimido, atinge a pressão de condensação e sai superaquecido há uma certa temperatura maior que a de condensação.

No trecho 2-3 ocorre o processo de rejeição do calor no condensador, sendo que o fluido refrigerante troca com o meio externo e é resfriado até se tornar líquido saturado.

No trecho 3-4 o dispositivo promove o processo de expansão, desde a pressão de condensação e líquido saturado, até a pressão de vaporização.

No Trecho 4-1 acontece o processo de transferência de calor no evaporador a uma pressão constante até atingir o estado de vapor saturado, mudando sua quantidade.

4.3 Taxa da condução de calor dos trocadores de calor

A condução é um modo de transmissão de calor que ocorre através das paredes de um trocador de calor. Segundo Dossat (2004, p. 454), a capacidade é calculada pela equação fundamental de transmissão de calor:

$$Q = A \times U \times D \quad (1)$$

Onde:

Q = a quantidade de calor transmitida [W]

A = áreas da superfície externa do evaporador [m²]

U = fator de condutância total [W/m².°C]

D = diferença logarítmica média de temperatura (entre o evaporador e fluido refrigerante) (°C)

Segundo Dossat (2004, p. 328), o evaporador “[...] deve ter capacidade de transmissão de calor para permitir ao refrigerante vaporizante absorver calor à taxa necessária para produzir o resfriamento requerido quando operando nas condições projetadas”. No condensador “o calor do vapor refrigerante quente passa através das paredes do condensador para o meio de condensação” (DOSSAT, 2004, p. 451).

Na produção textual apresentada neste artigo não cabe o aprofundamento teórico em relação a cada um dos fatores descritos na equação, mas compreender que os aspectos A, U e D estão diretamente relacionados entre si. Logicamente, qualquer alteração nesses valores implica na modificação da quantidade de calor transmitida.

4.4 Coeficiente de Performance (COP)

Segundo Dossat (2004) o COP é calculado pelo efeito de resfriamento ou de aquecimento, avaliando a capacidade do ciclo de retirar (Q_{ev}) ou rejeitar (Q_{cd}) calor sobre a potência consumida (W_{cp}) pelo compressor.

4.5 Aspectos normativos

A ABNT (NBR 13971, 2014) “[...] estabelece orientações básicas para as atividades e serviços necessários na manutenção programada de conjuntos e componentes em sistemas e equipamentos em refrigeração, condicionamento de ar e ventilação”. Recomenda também vários procedimentos de manutenção para os componentes que fazem parte do sistema mecânico do projeto.

Para os evaporadores é recomendado – preventivamente - a limpeza das superfícies do lado ar ou líquido refrigerado, verificação de sujeira que possa prejudicar a troca térmica, medições das pressões, temperaturas e vazões de

entrada e de saída, entre outras ações efetivas. Também há recomendações de manutenção preventiva para os compressores, válvulas e tubulações do sistema de refrigeração (ABNT, NBR 13971, 2014).

5 EXPERIMENTO PRÁTICO

5.1 Recursos

Trata-se de um estudo experimental e análise dos dados obtidos durante o funcionamento mecânico de uma bancada didática de refrigeração por compressão de vapor utilizada no laboratório de refrigeração de uma faculdade de tecnologia. Participaram do estudo alunos e o professor orientador. O equipamento apresenta todas as características configurações básicas e componentes, tais como: compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador. Além disso, possui medidores de corrente, tensão, potência e vazão. Também foram utilizados todas as ferramentas e instrumentos necessários para o desenvolvimento do estudo, assim como os Equipamentos de Proteção Individual (EPI).

6 DESENVOLVIMENTO





6.1 Medição das temperaturas

Utilizou-se um termômetro digital tipo penta, através do qual se pode realizar as medições das temperaturas de ar externo (TAE), temperatura de descarga do compressor (TCD), para avaliar a temperatura de ponto crítico do fluido refrigerante, a temperatura da linha de líquido (TLL), a temperatura do ar interno (TAI) (retorno, por simulação) e a temperatura da linha de sucção (TLS).

6.2 Procedimentos Técnicos para coleta de dados

Foram instalados *dampers* de acionamento manual nas admissões de ar dos trocadores de calor, ou seja, no condensador e no evaporador. O objetivo foi simular o grau de sujidade nesses componentes em escalas pré-determinadas, representando: 50%, 75% e 100% de obstrução, conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Procedimento de obstrução dos trocadores de calor

ITEM	Evidência prática	Descrição das atividades
A		Medição das vazões, temperaturas, pressões nas condições normais de funcionamento e com o processo de compressão de vapor da máquina estabilizada.
B		Instalação de dois <i>dampers</i> (condensador e evaporador) como atividade de preparação do equipamento para simulação de sujidade.
C		<i>Dampers</i> (condensador e evaporador) com 50% de sua área obstruída para troca térmica, ou seja, simulando 50% de obstrução dos trocadores de calor.
D		<i>Dampers</i> (condensador e evaporador) com 75% de sua área obstruída para troca térmica, ou seja, simulando 75% de obstrução dos trocadores de calor.

Fonte: Os autores (2019)

Na bancada didática de refrigeração existem os pontos de medição e controle através de registros tipo gaveta, termômetros e manômetros, a fim de se obter os valores das leituras nos pontos pré-determinados (Do ponto 1 até 4, da Figura 2).

Além desses, existem pontos para captação das pressões de baixa e de alta, respectivamente. Para o controle das pressões de sucção e descarga existem dois pressostatos (baixa e alta pressão) integrados ao circuito elétrico, como meio eficaz de segurança para os usuários e ao próprio equipamento.

Nas linhas de sucção e descarga foram acoplados as mangueiras e o conjunto *manifold*, para as leituras das pressões de sucção e descarga, assim, em conjunto com a tabela de saturação do fluido refrigerante R-401a, foram plotados os dados obtidos.

Foram extraídas as medições de todas as grandezas: elétricas (tensão e corrente), termodinâmicas (pressão de alta e baixa), vazão de ar na admissão

e na descarga, comportamento do fluido, temperatura de evaporação, temperatura de condensação, temperatura de subresfriamento, temperatura de superaquecimento e temperatura de ponto crítico. Todos os dados estão apontados na Tabela 1, isto é, desde a condição ideal com o equipamento sem *damper*, até a simulação de 100% de sujidade.

Tabela 1 - Dados coletados no equipamento

PONTO (°C)	EQUIPAMENTO NO ESTADO INICIAL	Equipamento com damper 100% aberto	Equipamento com damper 50% fechado	Equipamento com damper 75% fechado	Equipamento com damper 100% fechado
T1 (TLS) °C	24,2	27	28,4	29,1	0
T2 (TLL) °C	40	41,7	44,5	45	0
T3 (TCD) °C	78,4	90,5	95	99	99,8
T4 (TEV) °C	3,4	4,3	5,3	5,7	0
T5 (TAE) °C	26,2	25	23,4	29,9	29,9
P1 (Pressão de descarga) Psig	195	195	215	230	280
P2 (Pressão de baixa) Psig	30	30	32	32,5	42,5
P3 (Pressão de sucção) Psig	30	30	32	32,5	42,5
Vazão de ar (m ³ /h) Evaporador	344,74	358,85	292,32	181,44	0
Vazão de ar (m ³ /h) Condensador	344,9	370,94	294,33	211,68	0
Vazão (m) Kg/h	14,94	14,94	14,94	14,94	0
Tensão (V)	235	235	235	235	235
Corrente (A)	2,7	2,7	2,82	2,9	3,2
Potência (W)	520	520	545	560	600

Fonte: Os autores (2018)

7 RESULTADOS

No estudo realizado destacam-se: a variação no consumo de energia e da potência consumida, valor em torno de 10%; aumento de 15% no gasto de energia; e a perda do rendimento do sistema termodinâmico devido a diminuição de 8,5% do Coeficiente de *Perfomance* (COP).

7.1 Análise da potência consumida e do consumo de energia

A análise do consumo de energia foi baseada nas tarifas de uma conta de energia residencial plena com a incidência de ICMS e demais tributos. Foi estabelecido um período de funcionamento diário do equipamento de 18 horas com consumo mensal de 540 horas. Com a evolução do grau de sujidade, observou-se o aumento da potência consumida pelo equipamento num valor percentual de 10% (de 0,52 kW para 0,6 kW); e o aumento gradativo

do consumo de energia, isto é, 10% com o *damper* 50% fechado e, aproximadamente 15%, ao fechar o *damper* 100%. A Tabela 2 apresenta um resumo dos valores extraídos do experimento e obtidos considerando medições, taxas e tarifas.

Tabela 2 - Análise da potência e do consumo de energia

Condições para cálculo		Quantidade de horas por dia				18,00
		Quantidade de horas por mês				540
Potência consumida (kW)		0,52	0,52	0,545	0,56	0,6
Condições de operação		Inicial	Damper 100% aberto	Damper 50% fechado	Damper 75% fechado	Damper 100% fechado
Tarifas e impostos		Valores em reais (R\$)				
Tarifa residencial plena - com ICMS (kW por mês)		280,80	280,80	294,30	302,40	324,00
Tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD)	0,28894	81,13	81,13	85,04	87,38	93,62
Tarifa de energia	0,36783	103,29	103,29	108,25	111,23	119,18
Adicional de bandeira vermelha	8,50%	19,48	19,48	20,42	20,98	22,48
PIS/PASEP	0,87%	2,00	2,00	2,09	2,15	2,30
COFINS	5,25%	12,03	12,03	12,60	12,95	13,88
COSIP	4,92%	11,28	11,28	11,83	12,15	13,02
CUSTO TOTAL		229,21	229,21	240,23	246,84	264,48
Variação do consumo - condição inicial <i>versus</i> damper 50% fechado		10%	Variação do consumo - condição inicial <i>versus</i> damper 100% fechado			15,39%

Fonte: Os autores (2018)

7.1 Perda de rendimento do sistema termodinâmico

Devido a limitação de páginas desse artigo, optou-se por mostrar um exemplo de cálculo do COP nas condições dos trocadores de calor obstruídos em 75%.

$$W_{CP} = 0,56 \text{ kW}$$

$$QL = \dot{m} \cdot \Delta h_{ev} \tag{2}$$

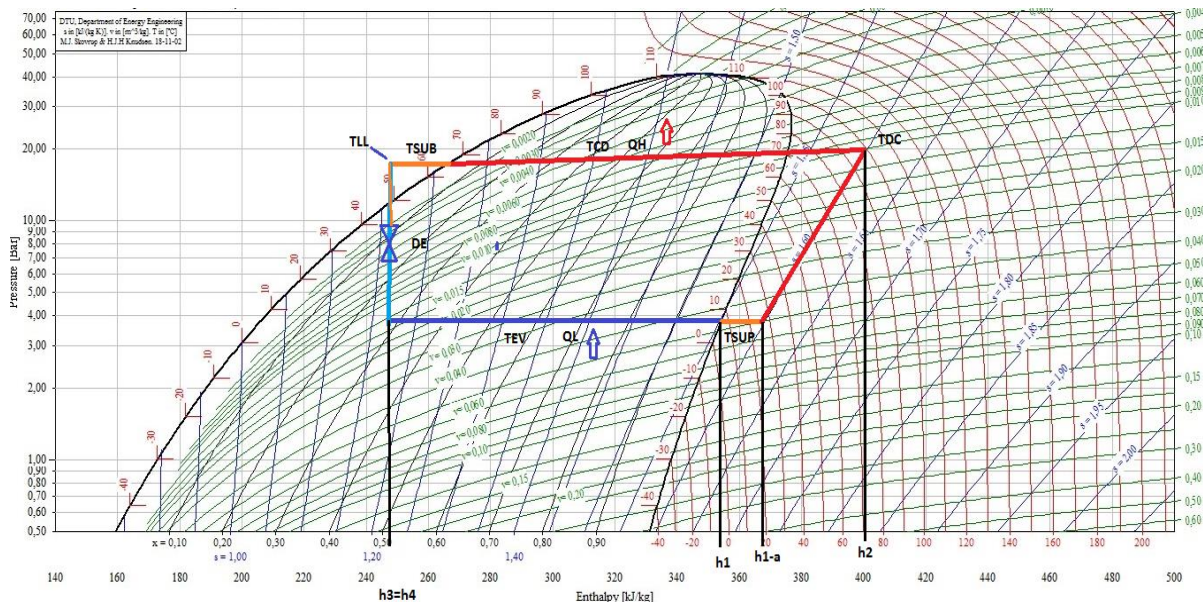
$$QL = 0,00415 \text{ kg/s} \cdot (365 - 245) \text{ kJ/kg} = 0,498 \text{ kW}$$

$$\text{COP real} = \frac{QL}{W_{CP}} \tag{3}$$

$$\text{COP real} = 0,498 / 0,56 = \mathbf{0,889}$$

A seguir foi representado o Diagrama de Mollier (P x h) das condições termodinâmicas do experimento realizado, conforme Gráfico 1, fluido R-401a.

Gráfico 1 - Diagrama de Mollier (P x h) do sistema de refrigeração com obstrução dos trocadores de 75%.



Fonte: Adaptado de UTD (2018)

No Quadro 2, está representado um resumo dos valores obtidos das traçagens dos Diagramas de Mollier (P x h), realizadas em *software* específico (UTD, 2018), e cálculos de COP ideal e real nas condições: sem *damper*, 100% aberto, 50% fechado, 75 % fechado e 100% fechado.

Quadro 2 - Resumo dos dados obtidos no Diagrama de Mollier e cálculos

Bancada didática de refrigeração										
Resumo dos valores obtidos no Diagrama de Mollier e cálculos do COP										
	entalpias (kJ/kg)				kg/s	kW	kW	Q_{EV} / W_{CP}	Q_{EV} / W_{CP}	
Damper (sujidade)	h1	h1a	h2	h3=h4	m	Q_{EV}	W_{CP}	COP ideal	COP real	Observações
sem damper	355	370	395	240	0,00415	0,5395	0,52	5,1	1,0375	
100% aberto	355	370	396	239	0,00415	0,54365	0,52	5,21	1,0454	Máquina estabilizada
50% fechado	355	370	396	239	0,00415	0,498	0,545	4,84	0,9138	Aumento de potência consumida
75% fechado	350	365	410	245	0,00415	0,498	0,56	4,72	0,889	Aumento de potência consumida
100% fechado							0,6	*	*	Não foi possível medir, pois a máquina acionou o pressostato por segurança

Fonte: Os autores (2018)

A análise dos valores obtidos e constantes no Quadro 2 demonstrou que os índices termodinâmicos continuam a variar negativamente, reduzindo o COP ideal, o COP real e a capacidade da absorção de calor pelo evaporador que, por consequência, produz um aumento gradativo de consumo (kW) devido ao trabalho excessivo do compressor e perda de rendimento termodinâmico de 8,5% do COP. Vale ressaltar que o condensador e o

evaporador estão no mesmo ambiente, motivo pelo qual os valores obtidos e o comportamento termodinâmico diferem de um equipamento convencional.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados comprovam que a falta ou execução incorreta de manutenção, sem periodicidade e fora dos padrões especificados pelas recomendações do fabricante, normas e portarias, contribui também para causar prejuízos técnicos e financeiros. Independentemente do motivo que se ocasiona a maior exigência da potência do compressor requerida num sistema de refrigeração, a frequência de tais ocorrências colabora para a diminuição da vida útil dos componentes quando forçados a trabalhar em condições extremas. O intuito do experimento foi comprovar que por consequência da sujidade há uma redução do rendimento, conseqüentemente, maior desgaste do equipamento, aumento de consumo de energia, redução da capacidade de absorção de calor nos trocadores e alteração no ciclo termodinâmico. Todos estes valores foram obtidos ao analisar as condições operacionais e as variações teóricas do sistema em função das simulações dos graus de sujidade.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Bandeiras tarifárias**. Brasília, 24 nov. 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR nº 13971/2014**. Sistemas de refrigeração, condicionamento de ar, ventilação e aquecimento. Rio de Janeiro/RJ: ABNT, 2014.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 3.523**, de 28 de agosto de 1998.
- BRASIL. Senado Federal. **Lei nº 13.589, DE 28 de janeiro de 2018**. Dispõe sobre a manutenção de instalações e equipamentos de sistemas de climatização de ambientes. Brasília/DF, mensagem nº 3, de 4 de janeiro de 2018.
- DOSSAT, Roy Joy. **Princípios de refrigeração**. São Paulo: Editora Hemus, 2004.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- KARDEC, Alan Pinto; NASCIF, Júlio Xavier. **Manutenção: função estratégica**. 4 Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.
- UTD. Universidade Técnica da Dinamarca. **CoolPack is a collection of simulation models for refrigeration systems**. Disponível em: <https://www.ipu.dk/products/coolpack/>. Acesso em: 19 out. 2018.
- VENTURINI, Osvaldo José; PIRANI, Marcelo José. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração comercial e industrial**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 2005.