



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

(Condensação flutuante aplicada à refrigeração comercial)

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO DE CONTROLE MANUAL E AUTOMÁTICO DA TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO NA REFRIGERAÇÃO COMERCIAL – BLIND REVIEW

João Manoel Delcidio Carvalho, Edivaldo do Carmo Blanco, Beethoven Narvaez Romo

RESUMO

O hábito de economia de energia vem cada vez sendo mais enraizado na população mundial devido a ações governamentais que visam incentivar as empresas para desenvolverem projetos com objetivo de aumentar a economia de energia elétrica. Desta forma, empresas atuantes no ramo de AVAC&R continuam gerando constantemente opções no mercado para reduzir o valor do consumo energético em supermercados. Assim, o foco deste trabalho é realizar um experimento comparativo do consumo energético entre um sistema de refrigeração comercial central atuando com a temperatura de condensação fixa e outra flutuante. O experimento foi realizado no laboratório de refrigeração comercial da escola SENAI "Oscar Rodrigues Alves" – Ipiranga, São Paulo e foi iniciado com a adaptação do equipamento para trabalhar de acordo com a ASHRAE Standard 72-2014. Com base na mesma norma e com o auxílio da Metodologia de Realização de Diagnóstico Energético, fornecido pelo PROCEL, foi realizada uma série de testes em campo, com intuito de coletar uma base de dados para justificar o estudo e, por fim, com os dados já coletados, foi verificado que com temperatura de condensação fixa o consumo foi de 7,83 kW e flutuante 6,68 kW, impactando em uma redução de quase 15%.

Palavras-chave: Economia de energia. AVAC&R. Supermercados. SENAI. Temperatura de condensação flutuante.

ABSTRACT

The habit of saving energy is increasingly being rooted in the world population due to government actions that aim to encourage companies to develop projects aimed at increasing the energy savings. In this way, companies operating in the HVAC & R industry continue to constantly generate options in the market to reduce the value of energy consumption in supermarkets. Thus, the focus of this work is to perform a comparative experiment of the energy consumption between a central commercial refrigeration system acting with the fixed condensation temperature and another floating. The experiment was carried out in the commercial refrigeration laboratory of the SENAI school "Oscar Rodrigues Alves" - Ipiranga, São Paulo and started with the adaptation of the equipment to work according to ASHRAE Standard 72-2018. Based on the same standard and with the aid of the Energy Diagnostic Realization Methodology provided by PROCEL, a series of field tests were carried out to collect a data base to justify the study and, finally, the data already collected,

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO DE CONTROLE MANUAL E AUTOMÁTICO DA TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO NA REFRIGERAÇÃO COMERCIAL

it was verified that with fixed condensation temperature the consumption was of 7.83 kW and floating 6.68 kW, impacting in a reduction of almost 15%.

Keywords: Economy of energy. AVAC&R. Supermarkets. SENAI. Floating condensing temperature.

1 INTRODUÇÃO

Em sua tese, Silva (2012), cita que foram criados diversos programas governamentais de eficiência energética que visam a utilização racional e eficiente de fontes de energia, com ações que forçam os fabricantes a desenvolverem produtos de alto desempenho e estimulam os consumidores a adquiri-los.

Por exemplo, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL que criou o Programa de Eficiência Energética – PEE que promove o uso de energia elétrica eficaz por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. E a partir da implementação deste programa (PEE), segundo a ANEEL, já foram registrados mais 1000 projetos de redução de energia, quantificando em torno de mais de 1900 TWh/ano de economia de energia até maio de 2018 (ANEEL, 2018).

Desta forma, empresas atuantes em sistemas de refrigeração e climatização vem constantemente desenvolvendo e aplicando suas tecnologias no mercado com foco na redução de energia elétrica e, fundamentando-se em temas que abrangem o setor, seja como na inovação tecnológica de equipamentos, componentes, válvulas ou controle de processos.

Baseando-se que o custo de energia elétrica ocasionado pela refrigeração em um supermercado pode chegar até aproximadamente 25% (PANESI, 2008), este trabalho visa realizar um diagnóstico comparativo entre dois métodos de controle de temperatura de condensação aplicados à refrigeração comercial com intuito de obter resultados sólidos para uma análise técnica e apresentar qual método é energeticamente viável.

Para fundamentar este trabalho, denota-se a importância de citar o diagrama de Mollier, o Ciclo de refrigeração de Carnot e a metodologia de cálculo para sua respectiva eficácia (COP), para enfim apresentar a solução de controle proposta para fins comparativos.

Por fim, o trabalho é finalizado com um experimento comparativo prático entre dois métodos de controle de temperatura de condensação, onde a temperatura de condensação flutuante apresenta uma economia de energia elétrica sobre a condensação de temperatura fixa de aproximadamente 15%.

2 O DIAGRAMA DE MOLLIER

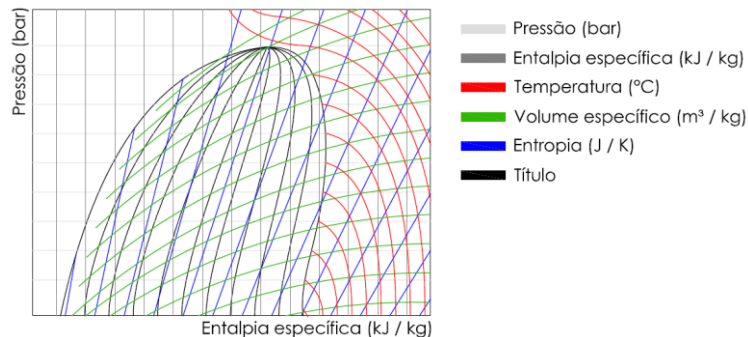
O diagrama de Mollier é um gráfico com objetivo de representar as propriedades termodinâmicas dos fluidos refrigerantes em dadas condições de trabalho / operação.

Este mesmo diagrama é composto por linhas representativas de pressão, entalpia específica, temperatura, volume específico, entropia e título

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO DE CONTROLE MANUAL E AUTOMÁTICO DA TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO NA REFRIGERAÇÃO COMERCIAL

(representam o percentual de vapor e líquido do fluido em dado instante), conforme ilustra a imagem adiante.

Figura 1 – Diagrama de Mollier



Fonte: Do Autor.

3 CICLO DE REFRIGERAÇÃO DE CARNOT

O ciclo de refrigeração de Carnot é um sistema composto por 4 componentes descritos adiante cuja função é realizar duas transformações isotérmicas¹ e duas adiabáticas² (STOECKER *et. al.*, 2018).

1. Compressão adiabática e reversível (sem atrito);
2. Rejeição de calor a temperatura constante;
3. Expansão adiabática e reversível em um motor térmico;
4. Remoção isotérmica de calor de um ambiente a baixa temperatura.

Desta forma, para que o ciclo atinja seu objetivo termodinâmico, é necessário que componentes ou equipamentos realizem funções e estes são ilustrados conforme imagem adiante.

Figura 2 – Ciclo de refrigeração de Carnot



Fonte: Do Autor.

¹ Transformação isotérmica: Transformação termodinâmica com temperatura constante.

² Transformação adiabática: Transformação termodinâmica que não há troca de calor com o ambiente (processo isoentrópico – sem variação de entropia).

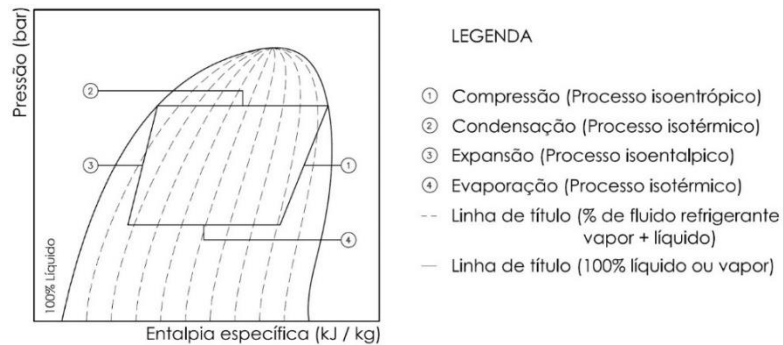
AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO DE CONTROLE MANUAL E AUTOMÁTICO DA TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO NA REFRIGERAÇÃO COMERCIAL

Em termos educacionais e práticos, o ciclo de refrigeração de Carnot é avaliado em duas formas, a ideal e a real.

O ciclo de refrigeração de Carnot ideal é o resultado de um ciclo fictício composto pelos 4 componentes descritos na figura 2.

A figura 3 ilustra o exemplo de um ciclo de refrigeração de Carnot ideal em um diagrama de Mollier.

Figura 3 – Ciclo de refrigeração de Carnot ideal



Fonte: Do Autor.

Já a figura 4, exemplifica um ciclo de refrigeração de Carnot real.

Note que neste exemplo existem duas alterações em comparação com o desenho anterior, que estão indicadas de verde e são: a localização da linha de compressão que ultrapassa a linha de título e a linha de expansão que passa a ser vertical (isoentalpica³), ao contrário da anterior que era diagonal (isoentrópica).

Estas alterações se dão ao efeito do trabalho real realizado tanto pelo compressor quanto pelo dispositivo de expansão que são limitados às consequências operacionais.

No caso do compressor, a consequência se dá devido à impossibilidade de trabalhar com fluido refrigerante em estado líquido tanto em sua aspiração quando em sua compressão, por isso a linha de trabalho da compressão é necessária ser realizada somente com o fluido 100% vapor (STOECKER *et. al.*, 2018).

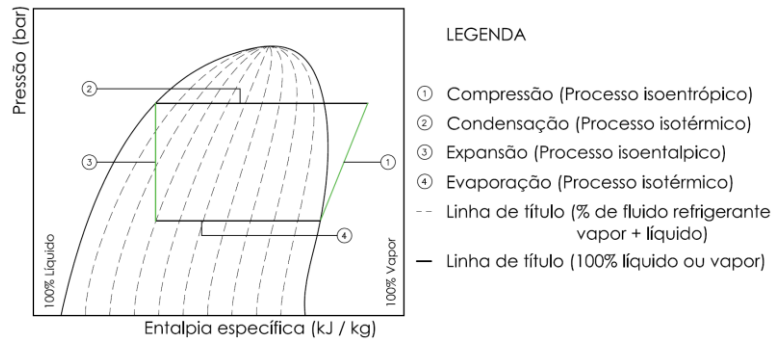
Já no caso da expansão, a consequência se dá devido à dificuldade de criar um motor que opere com líquido + vapor e à dificuldade de controlar a vazão mássica do fluido refrigerante de acordo com a variação da carga térmica constante (STOECKER *et. al.*, 2018).

Assim, o motor térmico foi substituído por um dispositivo de expansão, que por sua vez, opera de forma isoentalpica e não isoentrópica.

Figura 4 – Ciclo de refrigeração de Carnot real

³ Transformação isoentalpica: Transformação termodinâmica que não há variação de entalpia.

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO DE CONTROLE MANUAL E AUTOMÁTICO DA TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO NA REFRIGERAÇÃO COMERCIAL



Fonte: Do Autor.

4 COEFICIENTE DE PERFORMANCE (COP)

É possível observar que motores foram frisados em capítulos anteriores para realizar os trabalhos adiabáticos da máquina térmica de Carnot. Portanto, sua eficácia não será calculada de forma distinta de motores elétricos que considera a relação da potência de saída sobre a de entrada.

Assim, o coeficiente de performance para máquinas térmicas, é equacionado pela relação da energia útil – EU, que indica a carga térmica dos evaporadores (potência de evaporação) pela energia gasta – EG, que indica a energia utilizada pelos compressores (potência de compressão), conforme ilustra a equação adiante.

$$COP = \frac{EU}{EG} \quad (1)$$

Resumidamente, pode-se entender que quanto menor a energia gasta para atender a necessidade da carga térmica, maior será o COP e menos energia elétrica será gasta.

5 EFEITO DA TEMPERATURAS DE CONDENSAÇÃO SOBRE O COP

Para determinar a energia útil (carga térmica) de um sistema de refrigeração, é necessário que o projetista estipule qual a capacidade em produtos do comércio e realize o cálculo de carga térmica.

No entanto, para realizar o selecionamento dos equipamentos ou análise de sistemas, além da energia útil, é necessário obter dados como a temperatura de evaporação e temperatura de condensação do projeto.

A temperatura de evaporação ($T_{\text{evaporação}}$) é determinada pela diferença entre a temperatura de armazenamento do produto (T_{ambiente}) e o diferencial de temperatura (ΔT_{UR}) estipulado de acordo com a umidade relativa interna das câmaras (valor tabelado de acordo com o produto).

$$T_{\text{evaporação}} = T_{\text{ambiente}} - \Delta T_{UR} \quad (2)$$

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO DE CONTROLE MANUAL E AUTOMÁTICO DA TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO NA REFRIGERAÇÃO COMERCIAL

Como a temperatura de evaporação está relacionada diretamente com o tipo do produto, não será necessário considerar esta variável para fins comparativos deste trabalho.

Já a temperatura de condensação ($T_{\text{condensação}}$) é determinada pela soma da temperatura máxima de ambiente externo ($T_{\text{máx. amb. ext.}}$) conforme cita a ASHRAE Handbook – Fundamentals (2017) e o diferencial de temperatura ($\Delta T_{\text{cond.}}$) estabelecido de acordo com o tipo de aplicação, conforme cita a ASHRAE Handbook – Refrigeration (2018), sendo:

- 5 K até 9 K para sistemas de congelados;
- 8 K até 11 K para sistemas de resfriados.

$$T_{\text{condensação}} = T_{\text{máx. amb. ext.}} + \Delta T_{\text{cond.}} \quad (3)$$

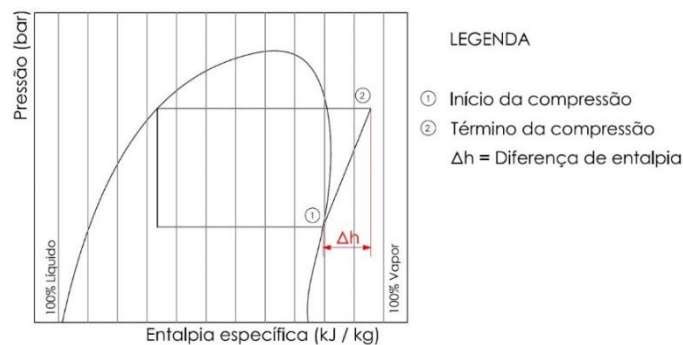
No entanto, e para as situações que a temperatura externa não está nem perto das condições extremas (Ex. Inverno), qual impacto ocorrerá ao sistema frigorífico em termos energéticos?

Para responder esta pergunta, observe como é calculada a potência de compressão de um sistema de refrigeração comercial.

A potência de compressão (\dot{W}) pode ser calculada por meio da multiplicação da vazão mássica (\dot{m}) do fluido refrigerante do compressor no momento de sua aspiração pela diferença de entalpia (Δh) durante o processo de compressão.

$$\dot{W} = \dot{m} \cdot \Delta h \quad (4)$$

Figura 5 – Diferença de entalpia no processo de compressão

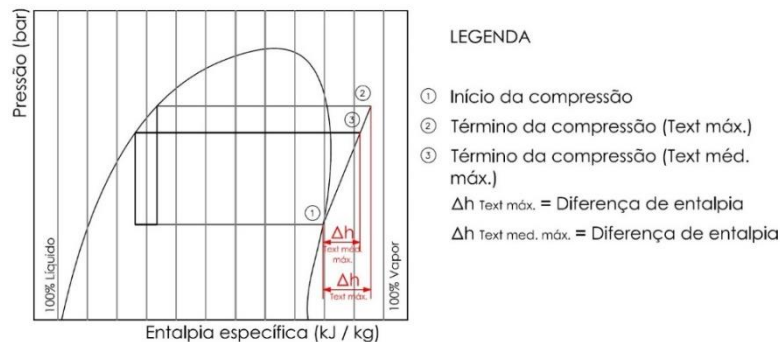


Fonte: Do Autor.

Observe, portanto na figura 6, que cada vez que elevar a temperatura de condensação, a pressão de condensação por sua vez irá se elevar e o diferencial de entalpia também, resultando em uma potência de compressão cada vez maior e em um COP cada vez menor.

AValiação DO IMPACTO DO USO DE CONTROLE MANUAL E AUTOMÁTICO DA TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO NA REFRIGERAÇÃO COMERCIAL

Figura 6 – Resultado da diferença de entalpia devido a variação da pressão de condensação



Fonte: Do Autor.

Como da mesma forma, a figura 6 ilustra que ao diminuir a temperatura de condensação, a pressão de condensação por sua vez irá diminuir e o diferencial de entalpia também, resultando em uma potência de compressão cada vez menor e em um COP cada vez maior.

Desta forma, o trabalho realizado visa promover uma análise comparativa entre um sistema que atua de modo manual e está programado em buscar uma temperatura de condensação fixa (temperatura externa máxima) por um sistema que atua de modo automático e está programado em buscar sempre um diferencial de temperatura de condensação, assim, atendendo a recomendação da ASHRAE e estando sujeito a variações de temperatura de ambiente externo, possibilitando a variação constante do COP.

5 METODOLOGIA DO EXPERIMENTO

A análise foi baseada na metodologia de realização de diagnóstico energético e na Standard ASHRAE 72-2014, para determinar um método de teste em refrigeradores e freezers comerciais abertos e fechados e, portanto, envolveu as seguintes orientações:

- Os instrumentos de medição de energia elétrica devem ter precisão de $\pm 2\%$ da quantidade medida;
- Sistemas de gerenciamento de energia podem ser utilizados durante o teste;
- Resistência de cárter deve ser ligada durante o período de teste;
- As portas (câmaras e expositores com portas) devem ser abertas por seis segundos e seis vezes por hora, durante o período de teste;
- A temperatura e pressão de sucção e temperatura do líquido devem ser registradas em intervalos de até 3 minutos.

Posteriormente, os equipamentos foram ligados no modo manual, e, após o Pull-Down (redução do valor da temperatura inicial até o valor de

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO DE CONTROLE MANUAL E AUTOMÁTICO DA TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO NA REFRIGERAÇÃO COMERCIAL

temperatura referência configurado pelo operador), foram iniciadas as medições, que são baseadas na Metodologia de Realização de Diagnóstico Energético (2004) e seguem como base na tabela 1 adiante.

Tabela 1 – Descrição de dados a serem coletados.

Descrição dos dados
Corrente elétrica da fase A
Corrente elétrica da fase B
Corrente elétrica da fase C
Tensão elétrica entre fases AB
Tensão elétrica entre fases BC
Tensão elétrica entre fases CA
Potência ativa de entrada
Pressão de evaporação
Temperatura de evaporação
Temperatura da linha de sucção
Superaquecimento total
Pressão de condensação
Temperatura de condensação
Temperatura do ambiente externo
Diferencial de temperatura de condensação

Fonte: Americo, et. al., 2004

Nos casos das grandezas elétricas, foi utilizado um analisador de energia para efetuar todas as medições de uma só vez, que, posteriormente forneceu os dados em formato de tabelas e gráficos resultantes no período de testes por meio de seu software.

Já para efetuar as grandezas termodinâmicas, os dados foram coletados com auxílio de dois controladores, um *low-end* que forneceu os dados reais da unidade externa e um *high-end*, que foi responsável em fornecer todos os dados reais das unidades internas durante a inspeção.

No que se refere a coleta de dados termodinâmicos, foi necessário acompanhar o processo pessoalmente e anotar todas as informações do controlador da unidade externa durante o período de teste, já para controlador central, o fornecimento de dados foi realizado por meio de software específico.

Após a realização dos testes do modo manual, foi realizado a mesma metodologia empregada ao modo automático para coleta de dados.

Por fim, os dados coletados com o sistema operando em modo manual e automático possibilitaram a comparação dos sistemas para determinar qual possui o menor consumo energético.

6 CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO

O equipamento é destinado a fins didáticos e composto por uma unidade externa integrada por três compressores e um condensador a ar remoto, além

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO DE CONTROLE MANUAL E AUTOMÁTICO DA TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO NA REFRIGERAÇÃO COMERCIAL

dos dispositivos de proteção e controle conforme ilustram a figura 7.

Figura 7 – Rack de congelados com condensador a ar remoto – (A) Vista frontal; (B) Vista posterior



Fonte: Rack de congelados da escola SENAI "Oscar Rodrigues Alves"

Além da unidade externa, o sistema é composto também por 6 unidades internas que podem ser visualizadas na figura 8 e são todas formadas por dois conjuntos de válvulas solenoide com dispositivos de expansão (uma válvula termostática e outra eletrônica pulsante) instalados em paralelo, além de um evaporador.

Figura 8 – Unidades internas do sistema de refrigeração de congelados – (A), (B), (C) Ilhas de congelados; (D) Expositor vertical de congelados; (E) Câmara frigorífica de congelados



Fonte: Unidades internas do sist. de congelados da escola SENAI "Oscar Rodrigues Alves"

Para possibilitar a alteração do modo manual para automático e vice-versa, foi implementada com uma lógica de controle capaz para realizar tal procedimento, e que por sua vez, foi desenvolvida e aplicada ao quadro elétrico da unidade externa.

Também, para selecionar as válvulas de expansão, foram destinados outros

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO DE CONTROLE MANUAL E AUTOMÁTICO DA TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO NA REFRIGERAÇÃO COMERCIAL

painéis que estão localizados nas unidades internas.

Por fim, outro painel elétrico foi destinado para controlar e proteger as unidades internas e demais cargas do sistema, como iluminação, resistência anti-condensação, etc. e que por sua vez pode ser visualizado na figura 9.

Figura 9 – Quadro elétrico de proteção e comando



Fonte: Quadro elétrico de proteção e comando da escola SENAI "Oscar Rodrigues Alves"

7 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Após realizar os testes, foram coletados dados obtidos em diferentes condições experimentais conforme cita o capítulo anterior, e que por fim, são relacionadas em valores médios na tabela adiante.

Tabela 2 – Parâmetros médios operacionais dos equipamentos.

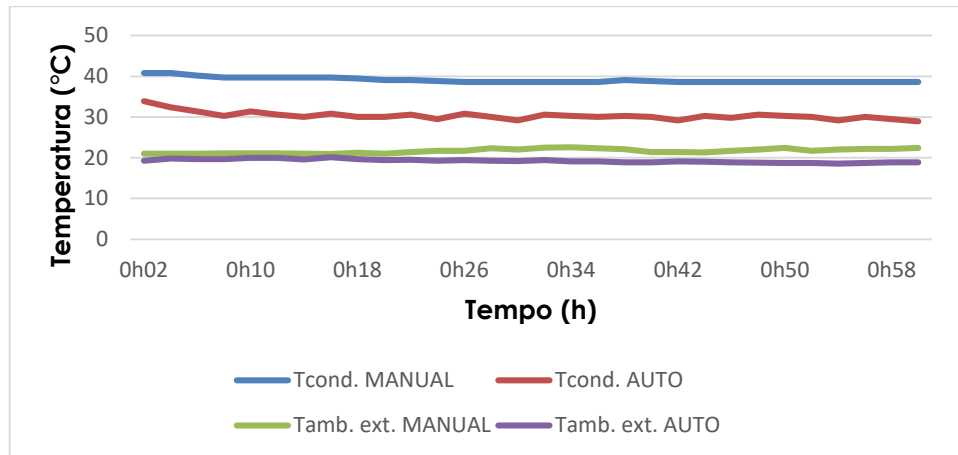
Descrição dos dados	Manual	Automático	Unidade de medida
Corrente elétrica da fase A	25,4	22	A
Corrente elétrica da fase B	27,3	23,9	A
Corrente elétrica da fase C	25,9	22,2	A
Tensão elétrica entre fases AB	216,87	215,45	V
Tensão elétrica entre fases BC	220,13	218,78	V
Tensão elétrica entre fases CA	221,65	218,88	V
Potência ativa de entrada	7,83	6,68	kW
Pressão de evaporação	1,26	1,05	bar
Temperatura de evaporação	-28,3	-30,8	°C
Temperatura da linha de sucção	-9,86	-28,1	°C
Superaquecimento total	18,44	2,7	K
Pressão de condensação	17,21	13,72	bar
Temperatura de condensação	39,1	30,3	°C
Temperatura do ambiente externo	21,66	19,26	°C
Δ Temp. de condensação	17,44	11,04	K

Fonte: Do Autor.

Assim, a figura 10 ilustra a variação das temperaturas de condensação e ar externo.

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO DE CONTROLE MANUAL E AUTOMÁTICO DA TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO NA REFRIGERAÇÃO COMERCIAL

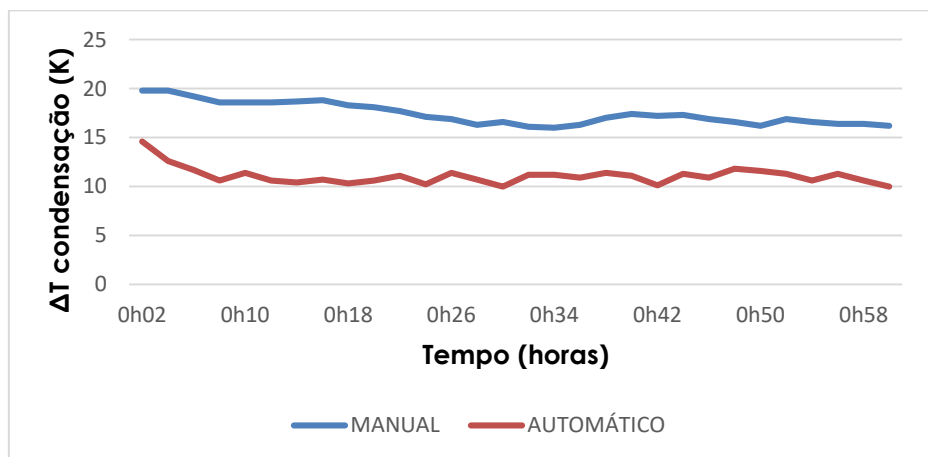
Figura 10 – Variação das temperaturas de condensação e ambiente externas no modo manual e automático



Fonte: Do Autor.

Já a figura 11 ilustra a variação do diferencial das temperaturas de condensação dos sistemas em modo manual e em automático.

Figura 11 – Variação do diferencial de temperatura de condensação dos sistemas em manual e automático



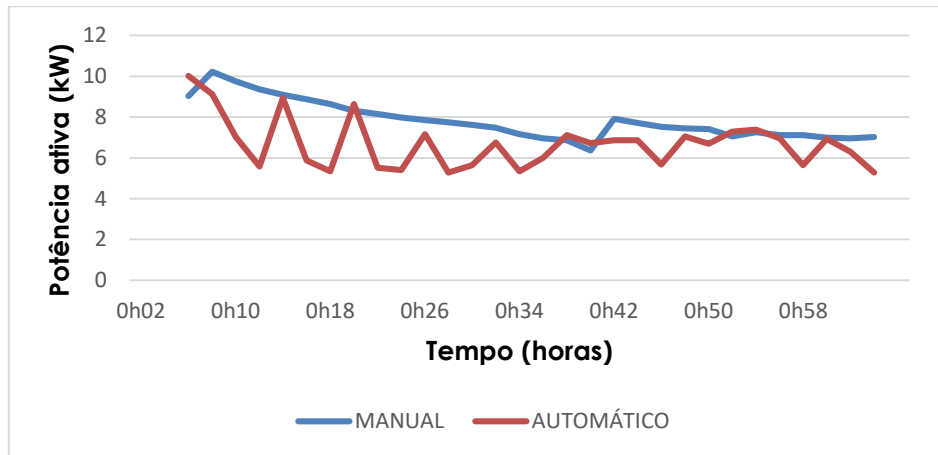
Fonte: Do Autor.

Note que, ambos os valores de ΔT condensação estão fora do que recomenda a ASHRAE Handbook – Refrigeration (2018), porém, a diferença da temperatura de condensação é inferior em modo automático devido à lógica de controle utilizada que é a temperatura de condensação flutuante, pois o sistema sempre irá buscar o valor diferencial de temperatura estabelecido pelo controle e não o valor máximo de projeto.

Por fim, a figura 12 indica um gráfico que ilustra o desempenho das potências ativas do sistema no modo manual e automático respectivamente, que por sua vez os compara e resulta em termos médios em uma economia de quase 15% de energia para o sistema de refrigeração em modo automático.

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO DE CONTROLE MANUAL E AUTOMÁTICO DA TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO NA REFRIGERAÇÃO COMERCIAL

Figura 12 – Gráfico comparativo de potências ativas do sistema em modo manual com automático



Fonte: Do Autor.

8 CONCLUSÃO

A partir do pressuposto que este artigo visou apontar um diagnóstico real sobre o desempenho energético de um sistema de refrigeração operando em modo manual e automático, foi considerado satisfatória a adequação do sistema de acordo com a Standard 72-2014 da ASHRAE, pois, desta forma, ambos os sistemas tendem a trabalhar com condições semelhantes e desta forma, evitou ao máximo desproporcionalidade técnica no estudo.

Por fim, após comparar os dados obtidos, foi diagnosticado que o sistema de refrigeração no modo automático possui uma economia de energia elétrica em quase 15% e esse percentual é justificado pela alteração do tipo de forma de controle da temperatura de condensação.

9 REFERÊNCIAS

ASHRAE, **ASHRAE Handbook - Fundamentals**, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2017.

ASHRAE, **ASHRAE Handbook - Refrigeration**, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2018.

ASHRAE Standard 72, **Method of Testing Open and Closed Commercial Refrigerators and Freezers**, ASHRAE, Atlanta, Geórgia, 2014.

AMERICO, M.; SZYSZKA, E. **Metodologia de realização de diagnóstico energético**. 1º. ed. Rio de Janeiro: PROCEL, 2004.

BRANCO, V. V. Avaliação de índices de Consumo de Energia para Supermercados. 2010. 71 p. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO DE CONTROLE MANUAL E AUTOMÁTICO DA TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO NA REFRIGERAÇÃO COMERCIAL

DIN EN 1861, **Refrigerating systems and heat pumps - System flow diagrams and piping and instrument diagrams - Layout and symbols**; Alemanha, 1998.

PANESI, A. R. Q. **Eficiência Energética em Supermercados**. Disponível em: <http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/eng_elet_automacao/18%20EFICIENCIA%20ENERGETICA%20EM%20SUPERMERCADOS.pdf>. Acesso: um de outubro de 2018.

Programa de Eficiência Energética – PEE. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica/-/asset_publisher/94kK2bHDLPmo/content/gestao-do-programa/656831?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fprograma-eficiencia-energetica%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_94kK2bHDLPmo%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2> Acesso em: 03 de setembro de 2018.

SILVA, D. L. **Análise de formação de gelo e geada e seu efeito no desempenho termo-hidráulico de evaporadores do tipo tubo aletado**. 2012. 173 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Mecânica.

STOECKER, W. F.; SAIZ JABARDO, J. M. **Refrigeração Industrial**. 3º ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2018.