

ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS NO FUNCIONAMENTO DE UM *SPLIT SYSTEM*, COM 5 ANOS DE USO EM RELAÇÃO AOS DADOS FORNECIDOS PELO MANUAL DO FABRICANTE¹

Taison Natanael Scariot²
Marcelo Kenzi Makiyama³
Keila Daiane Ferrari Orso⁴

RESUMO

Este estudo realizou a análise de um sistema de climatização, para constatar se o equipamento tem a mesma eficiência que o manual do fabricante fornece quando o equipamento é comprado pelo cliente. O objetivo deste estudo foi analisar os dados fornecidos pelo manual do equipamento para conferir se o sistema está instalado de forma a atender os requisitos do manual de instalação para que o equipamento não sofra nem uma interferência em seu desempenho. Essa pesquisa servirá como base para estudos futuros, inicialmente este estudo baseou-se em pesquisa em livros, artigos e manuais técnicos. Utilizamos de um ar condicionado de 12000 btu/h para efetuar os testes no período de 1 hora, para coletar os dados foi usado do auxílio de um Termômetro penta III portátil com 5 sensores *full gauge*, um Analisador de energia Minipa et 5062 e um manômetro. Desta forma conseguimos colher os dados para analisar com os fornecidos pelo manual do aparelho. Concluiu-se que o equipamento testado tem um consumo de energia elétrica maior do que o informado pelo fabricante do equipamento.

Palavras-chave: Ar condicionado. Análise. Eficiência.

1 INTRODUÇÃO

A busca pela redução do consumo de energia elétrica coloca a eficiência energética como um dos principais temas a ser discutido pela indústria, uma vez que, sem o desenvolvimento desta, a redução do consumo de energia torna-se inviável sem a redução proporcional da produção. Desta forma, a engenharia tem trabalhado para aumentar a eficiência energética, motivada tanto pela economia proporcionada pela redução de consumo, quanto pela preservação de fontes de energia não renováveis e do meio ambiente.

De acordo com Godoi (2011), a complexidade dos impactos originários da geração de energia tem aumentado gradativamente, alastrando seus efeitos tanto para os seres humanos, como ainda mais para o meio ambiente. Seu custo de geração tem se elevado muito na última década, devido a essas condições começou uma busca incessante para frear a energia consumida pelos equipamentos, aumentando a eficiência energética dos aparelhos desenvolvidos.

¹ Pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

² UCEFF Faculdades. Acadêmico do Curso de engenharia mecânica. Email:taison_scariot@hotmail.com.

³ UCEFF Faculdades. Docente do curso de Engenharia Mecânica. E-mail:marcelokem@hotmail.com.

⁴ UCEFF Faculdades. Docente do curso de Engenharia Mecânica. E-mail: keilaorso@hotmail.com.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2019), em janeiro de 2018, o consumo de energia elétrica das residências no Brasil atingiu o valor de 136.022 gW/h, aproximadamente, um aumento de 1.6% em relação ao mesmo mês do ano de 2017, no qual o consumo de energia era de 133.094 GW/h, perdendo somente para o setor industrial. A alta no consumo energético é causada, sobretudo, pelo uso de aparelhos que visam trazer conforto e comodidade, como sistemas de condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água.

Devido ao aumento da utilização dos sistemas de climatização em nossas residências nos últimos anos questiona-se, **o desgaste natural de alguns componentes do circuito de climatização, isso pode ocasionar um aumento do consumo de energia elétrica e consequentemente a diminuindo a eficiência do equipamento?**

Em interface de todo o exposto, este trabalho tem o objetivo de realizar uma análise dos dados coletados no funcionamento de um *split system*, com 5 anos de uso em relação aos dados fornecidos pelo manual do fabricante. Certificar se que o equipamento está instalado de forma a atender as normas de instalação do Fabricante. Realizar o superaquecimento do sistemas para diagnosticar que a carga de fluido refrigerante está dentro dos padrões solicitados pelo fabricante.

Baseado nessas características justifica-se a elaboração desse estudo de caso em função de identificar qual a eficiência do equipamento com o passar dos anos. Com esta perspectiva, a engenharia mecânica desempenha papel fundamental no desenvolvimento de novos componentes mecânicos de alta performance, maior vida útil e de baixo consumo energético, que compõem os sistemas de climatização.

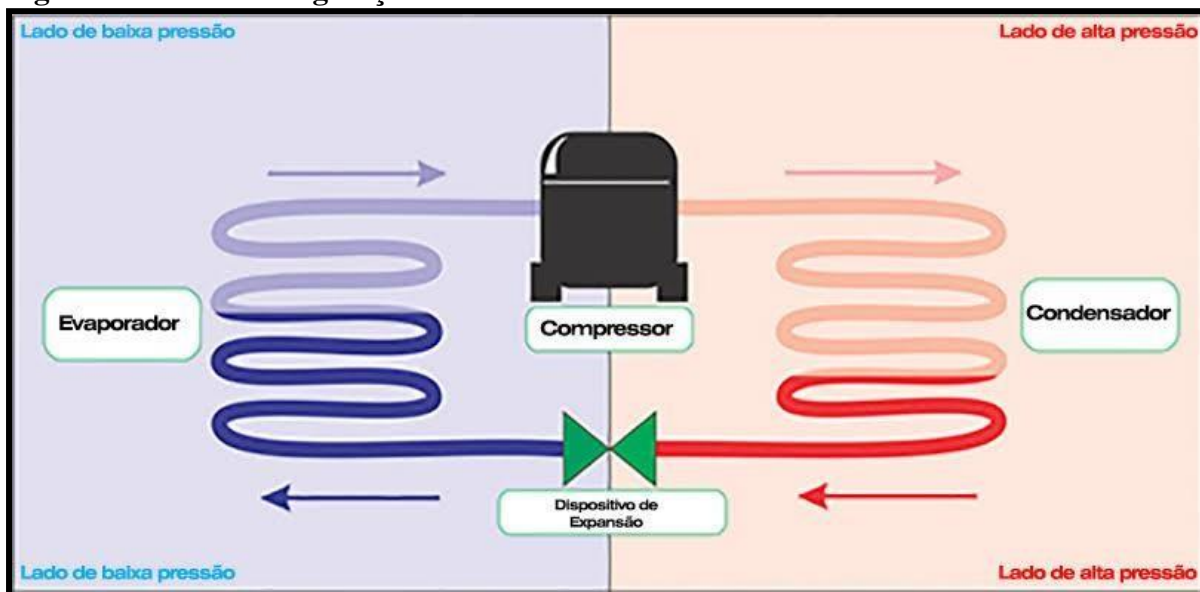
2 PRINCIPIO FÍSICO E FUNCIONAMENTO DOS AR CONDICIONADOS

Segundo Panesi (2015), basicamente existem dois sistemas de ar condicionado, o de expansão direta e o de expansão indireta. O sistema de expansão direta é mais utilizado em ambientes de pequeno porte, como lojas, residências, salas de aulas, entre outros. Esse sistema utiliza o próprio refrigerante como forma de extração de calor do ambiente climatizado. Já o de expansão indireta é mais utilizado em grandes ambientes como shoppings centers, hipermercados, e similares. Destaca-se por utilizar um trocador de calor casco tubo, de forma que esse sistema utiliza dois líquidos refrigerantes, sendo geralmente utilizada água como fluido de retirada de calor do ambiente, e um segundo fluido para o resfriamento da água.

O sistema de expansão direta é composto basicamente pela união de quatro componentes, sendo eles, compressor, condensador, dispositivo de expansão, e evaporador, acordo com as pressões

de trabalho do sistema interno, sendo elas a pressão de vaporização, onde há a transferência de calor entre o fluido e o ambiente a ser climatizado, e a pressão de condensação, onde há a transferência de calor entre o fluido e o ambiente externo (SILVA e SILVA, 2007). A Figura 1 demonstra o funcionamento de um ciclo de refrigeração e seus componentes.

Figura 1- ciclo de refrigeração



Fonte: IFSC (2014).

2.2 *SPLIT SYSTEM* CONVENCIONAL

Os aparelhos convencionais se caracterizam pelo trabalho do seu compressor, que é fixo, ou seja, está desligado ou está em carga máxima, além do compressor o ciclo de refrigeração é composto por mais três principais componentes, evaporador, condensador e dispositivo de expansão. (LUCATEL, 2017).

Panesi (2015) argumenta que o compressor é o coração do sistema de climatização, é ele que faz com que o fluido adquira movimento dentro das tubulações, succionando o fluido na entrada e impulsionando o mesmo na saída, em consequência disto o fluido tem um ganho considerável de temperatura e pressão. No entanto, o processo somente irá funcionar enquanto o fluido que entrar no compressor estiver totalmente no estado gasoso, isto é, de vapor, caso contrário seu funcionamento estará comprometido, bem como sua integridade.

De acordo com Miller e Miller (2014), o condensador nada mais é que um trocador de calor de tubos de cobre com aletas de alumínio, que por meio de um sistema de passagem de ar

forçado em seu interior, realiza a transferência de calor do fluido para o ar externo, resfriando o vapor superaquecido que sai do compressor, até atingir sua temperatura de condensação.

Como pode ser observado, Silva e Silva (2007) descrevem a válvula de expansão, ou capilar, como um redutor de pressão e controlador de fluxo de fluido refrigerante, isto é, um orifício de obstrução com a finalidade de dificultar a passagem do fluido que vem do condensador em estado líquido em alta pressão, e quando vence a resistência da válvula de expansão, torna-se um fluido com baixa temperatura e baixa pressão, trocando assim sua temperatura com o evaporador.

Conforme Silva e Silva (2007), os evaporadores são tubos de cobre, por onde o gás refrigerante circula, tendo seus dissipadores de calor em forma de aletas de alumínio, é onde o fluido muda do estado líquido para o estado de vapor, processo chamado de vaporização, e origem do nome do equipamento denominado evaporador.

2.2.1 Compressor Rotativo

Como destaca Filippo Filho (2015), existem dois tipos de compressores, os do tipo turbo compressores, e os compressores de deslocamento. Os compressores de deslocamento ainda são divididos em duas subclasses, alternativo e rotativo, sendo que o compressor rotativo tem sua câmara de compressão entre o espaço da carcaça e o rotor.

Para Stoecker (2002), a função do compressor é transformar energia elétrica em energia mecânica, utilizando a para deslocar um fluxo de fluido refrigerante no interior do circuito de climatização, vencendo todas as perdas de cargas e efetuando a troca de calor com o ambiente interno e externo.

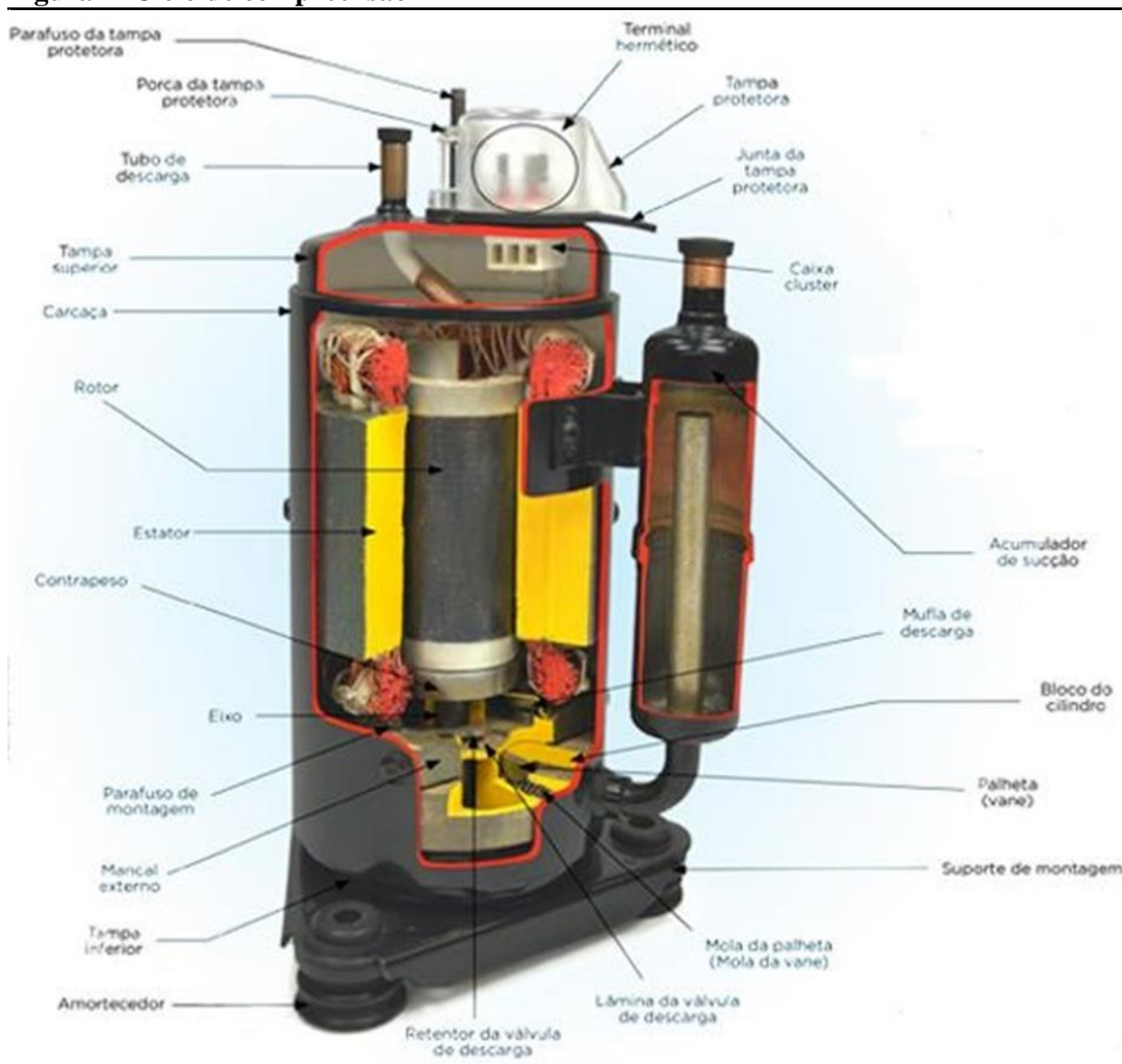
Este sistema de compressão é composto por um rolete excêntrico, palheta, mola, lâmina de descarga, e retentora. Se comparado com o compressor de pistões, tem como vantagem o menor número de peças em movimento, resultando na diminuição do ruído produzido, e na amplificação da eficácia energética, ou seja, menor consumo. Neste modelo de compressor é realizada a sucção e a descarga do fluido refrigerante através de um rolete, que comprime o fluido de modo direto contra a carcaça do compressor. O eixo com a frequência de movimento de 60 HZ desloca o rolete excêntrico, a palheta está sempre em contato com o rolete, assim dividindo a sucção e a compressão do compressor. (MILLER e MILLER, 2014).

Segundo Fagundes Neto (2012), desta maneira a sucção está sempre alimentada pelo líquido refrigerante em baixa pressão, proveniente da evaporadora. No instante que o volume de sucção atinge 100%, passa a se chamar volume de compressão, pois deixa de admitir fluido

refrigerante em sua câmara e passa apenas a comprimi-lo, aumentando sua pressão e temperatura. Ao atingir a pressão desejada, o fluido promove a abertura da lamina da válvula da descarga, e é deslocado para fora da câmara.

A Figura 2 demonstra o funcionamento do sistema de compressão e seus componentes de um compressor utilizado para sistemas de ar convencionais de pequeno porte.

Figura 2- Ciclo de compressão



Fonte: IFSC (2014).

De acordo com Fagundes Neto (2012), todo o kit do cilindro é submerso em um banho de óleo, todas as peças do compressor são extremamente polidas e montadas ajustadas. Quando o compressor está operando, forma-se uma película de óleo entre a sucção e a descarga, assim formando uma vedação entre a pressão de alta e baixa. No entanto, quando o compressor é

desligado, essa película de óleo é desfeita, fazendo com que as pressões se equalizam em todo o sistema.

Este tipo de compressor utiliza um motor monofásico de corrente alternada com capacitor de partida permanente, devido a essa característica possui uma corrente de partida alta e tem sua capacidade de desenvolvimento até quatro vezes sua potência nominal na hora da partida com carga elevada. O motor de fase individual compõe-se de um enrolamento de partida e um de marcha, ambos possuem o mesmo tamanho e resistência, e os desvios de fase entre as correntes dos dois enrolamentos são dados através do capacitor de partida, que está ligado em série com o enrolamento de partida. Tanto o capacitor de marcha quanto o enrolamento de partida permanecem no circuito durante a partida, e após o compressor ter atingido sua velocidade nominal. (MILLER e MILLER, 2014).

2.2.2 Dispositivo de Expansão

Para Miller e Miller (2014), os dispositivos que realizam a expansão termodinâmica em aparelhos *Split system* convencional são compostos por um tubo capilar, tendo um diâmetro interno muito pequeno, podendo variar de 0,5 mm até 2,0 mm, e com uma extensão metodicamente medida, variando entre 1,5 m e 3,5 m, a depender da capacidade térmica do equipamento. Proporcionalmente às dimensões do dispositivo de expansão, isto é, o diâmetro e comprimento, determina-se a quantidade de fluido refrigerante necessário para realizar o processo de forma adequada, sendo sua utilização bastante difundida por não possuir partes móveis, tornando desnecessária qualquer manutenção.

O tubo capilar não pode interromper o fluxo de fluido refrigerante, e quando o compressor para, conseqüentemente a pressão do lado de baixa e a pressão do lado de alta se equalizam. Por esta razão, é de suma importância que a quantidade de carga de gás refrigerante esteja adequada, de maneira que possa ser mantida na câmara de baixa pressão sem danificar nem um componente, sobretudo, considerando que se o sistema estiver com excesso de gás, no momento que o compressor for ligado, causará danos ao equipamento. (MILLER e MILLER, 2014).

2.2.3 Fluido Refrigerante

De acordo com Costa (1991), os agentes frigorígenos são substâncias empregadas conjuntamente com veículos térmicos, a fim de realizar o ciclo de refrigeração e climatização,

inicialmente foi utilizado como fluido refrigerante NH₃, CO₂, SO₂ e CH₃Cl. O desenvolvimento da indústria e de novos equipamentos, conjuntamente com o avanço da tecnologia, tornou necessário que fossem realizadas pesquisas por novos tipos de refrigerantes, resultando na descoberta dos hidrocarbonetos fluorados, sintetizados a partir dos hidrocarbonetos da série metano e etano.

Segundo Calm e Domanski (2005), após sua descoberta em 1928, e início comercial em 1936, o fluido refrigerante R-22 (CHClF₂) vem sendo largamente utilizado em sistemas de refrigeração de pequeno e grande porte. Sua pressão de trabalho na linha de baixa é aproximadamente 60 PSI, e na linha de alta pressão atinge até 250 PSI. Entretanto, apesar de seus benefícios, este fluido pertence à classe dos (HCFCs), a qual é prejudicial para o meio ambiente, motivo consequência de sua substituição por outros fluidos refrigerantes.

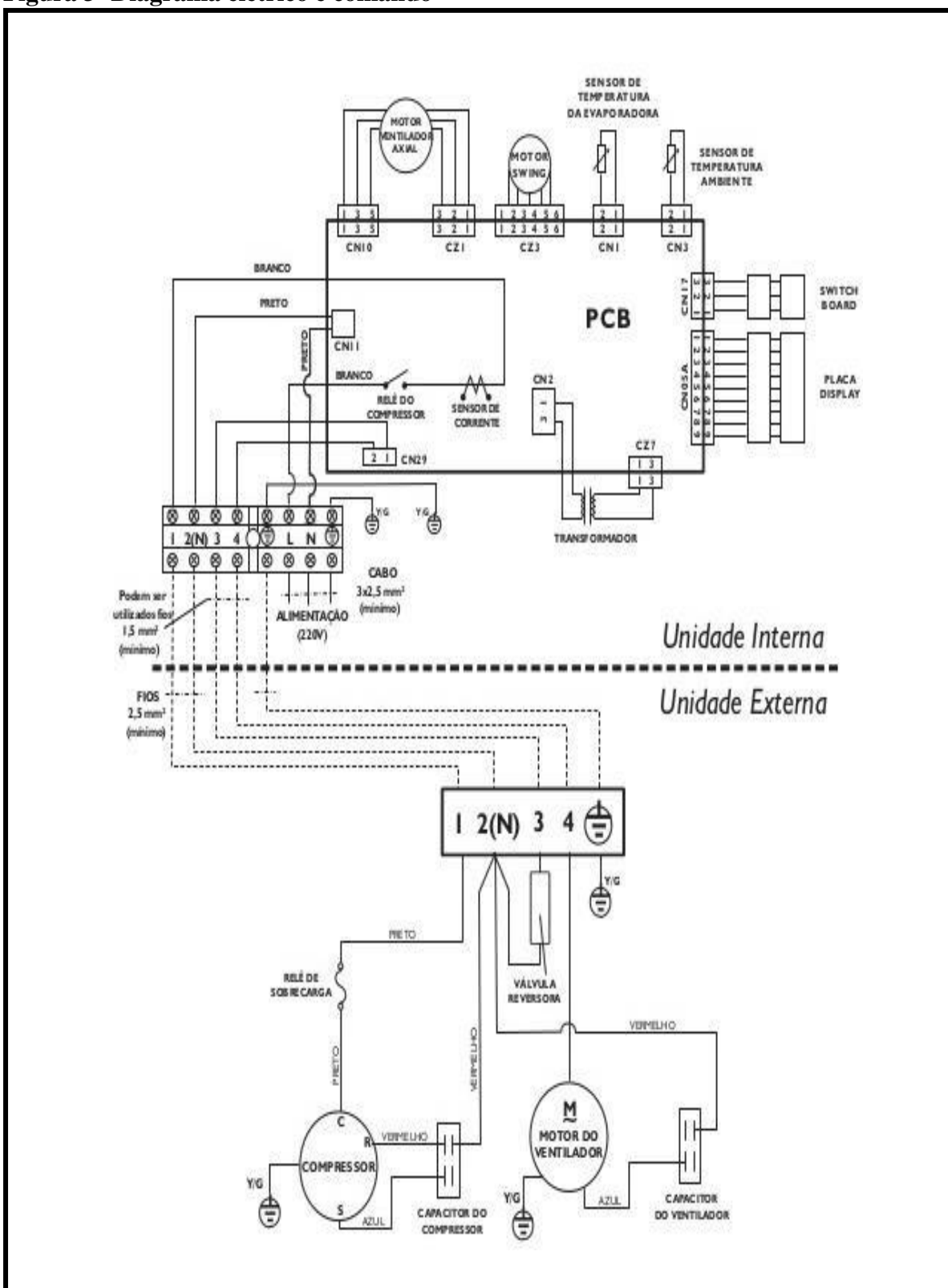
O HCFC é um composto de Hidro-Cloro-Flúor-Carbono, substância de menor impacto que o CFC quando em contato com a camada de ozônio. No HCFC foi substituído um átomo de cloro por um de hidrogênio que não causa danos a camada de ozônio, o HFC é o Hidro-Flúor-Carbono e o HC é Hidro-Carbono, ambos compostos não causam danos à camada de ozônio por não conter cloro em sua composição. (PIMENTA, 2011).

2.2.4 Sistema de Automação

Segundo Santos (2017), na Figura 3 podemos observar o sistema elétrico e de automação de um ar condicionado do tipo *Split system* convencional, sendo composto por uma placa eletrônica localizada no evaporador, a qual opera por um sistema de leitor de entrada, isto é, através de receptor de sinal de controle remoto.

Além disso, este sistema possui dois pontos de leitura de temperatura, um está localizado de maneira estratégica na ventilação do retorno, onde é captada a temperatura do ambiente a ser climatizado, e outro na serpentina, efetuando a leitura da temperatura da serpentina do evaporador para controlar a ventilação da unidade interna.

Figura 3- Diagrama elétrico e comando



Fonte: komeco (2014).

Através destes dados, recebidos e lidos pela placa, são acionados os comandos de saída, que gerenciam os motores do evaporador, ajustando a velocidade de acordo com o

desejado, realizando o acionamento do motor da ventilação da condensadora, acionando a bobina da válvula reversora e o compressor, funcionando de acordo com a demanda exigida pelo operador do aparelho. Todos os acionamentos são efetuados por comando 220 Volts, e os componentes acima citados trabalham com velocidade e vazão constantes quando ligados. (SANTOS, 2017).

2.3 COEFICIENTE DE PERFORMANCE (COP)

O COP é um nível importante para analisar o rendimento de uma máquina de climatização tais como *splits system*, *Chillers*, *self containers* equipamentos da linha comercial pesada, etc., esse índice determina a relação da capacidade de remoção de calor de um equipamento ou seja Energia útil e a potência requerida pelo compressor Energia consumida. Quanto maior o COP, melhor será o desempenho do equipamento e o seu consumo de energia. (SILVA e SILVA, 2007). Considerando o ciclo, o coeficiente de performance pode ser calculado através da Equação 1.

$$\text{COP} = \frac{\text{Energia útil}}{\text{Energia consumida}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_3} \quad (1)$$

Sendo:

h_1 = Entalpia da saída do evaporador; h_2 = Entalpia na saída do compressor; h_3 = Entalpia na entrada do compressor; h_4 = Entalpia na entrada do evaporador.

Na determinação do COP de um sistema do tipo *Split system*, a energia utilizada refere-se ao sistema completo, considerando-se o compressor, o motor do ventilador da unidade interna, o motor do ventilador da unidade externa e demais componentes elétricos que fazem parte dos equipamentos. (PANESI, 2015).

2.4 SUPERAQUECIMENTO DO SISTEMA

O correto superaquecimento é um dos parâmetros mais importante para um bom funcionamento do ciclo de refrigeração, pois é responsável para que o compressor não tenha golpe de líquido, além de resfriar o motor do compressor e para que o ciclo seja o mais eficiente

possível. O superaquecimento é o vapor saturado que retorna ao compressor. (SILVA e SILVA, 2007).

O valor ideal para um bom superaquecimento é entre 5°C a 7°C conforme o fabricante Midea (2012) especifica, se estiver a baixo de 5°C significa que existe muito gás refrigerante no interior do sistema, mas já se tiver a cima de 7°C e por que está faltando gás refrigerante no sistema. O superaquecimento do sistema pode ser definido aplicando-se a Equação 2.

$$\text{superaquecimento} = T2 - T1 \quad (2)$$

Sendo:

$T1$ = Temperatura de evaporação obtida pela pressão (°C)

$T2$ = Temperatura de sucção verificada com o termopar (°C)

Para convertermos o valor de temperatura da pressão lida ($T1$) no sistema de baixa pressão em temperatura devemos utilizar o Quadro 1.

Quadro1- Relação temperatura saturada X pressão do fluido R22

Temperatura (°C)	Pressão manométrica (kPa)	Pressão manométrica (Psi)
-2	364,74	52,9
-1	380,60	55,2
0	396,45	57,5
1	413,00	59,9
2	429,55	62,3
3	446,79	64,8
4	464,71	67,4
5	482,64	70,0
6	501,25	72,7
7	519,87	75,4
8	539,18	78,2

Fonte: adaptado da tabela Midea (2012).

O Quadro 1, é de fácil entendimento, basta apenas pegar a pressão manométrica obtida no sistema e converter na temperatura (°C), para posterior utilização no ($T1$) na equação 2. (SILVA e SILVA, 2007).

2.5 DADOS DO EQUIPAMENTO

De acordo com o fabricante Midea (2012), os dados que são fornecidos pelo manual do equipamento são todos testados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

(INMETRO) e aprovados para posterior os equipamentos serem colocados no mercado para comercialização como podemos observar no Quadro 2.

Quadro 2- Características técnicas do equipamento

Código Modelo Evap.:	42MLQB12M5
Código Modelo Cond.:	38MLQB12M5
Capacidade nominal:	12.000 (BTU/h) ou 3.52 (kW)
Alimentação (volts):	220
Corrente Elétrica de Refrigeração (amperes):	4.92
Eficiência Energética COP (W/W):	3.25
Potência de Refrigeração (kW):	1.082
Ciclo:	QUENTE/FRIO
Gás Refrigerante:	R-22
Classificação Energética (INMETRO):	A
Tipo do Condensador:	HORIZONTAL
Consumo de Energia Procel (kWh/mês):	22,7
Distância máxima entre as unidades (m):	15
Desnível entre as unidades (m):	10
Diâmetro da linha de sucção (mm):	12,70
Diâmetro de linha de expansão (mm):	6,35
Distancia da parte superior da evap até o teto (m):	0,10

Fonte: adaptado da tabela Midea (2012).

Segundo Silva e Silva (2007), esses dados devem ser verificados atentamente pelo consumidor final antes de adquirir um modelo de aparelho de ar condicionado, pois dependendo do COP em relação ao preço do equipamento fica inviável apenas a escolha pelo modelo do preço mais acessível, devido ao elevado gasto de energia ao longo da seu horas uso.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2 MATERIAIS

Para o desenvolvimento dos devidos teste em um aparelho de ar condicionado Midea do modelo *Split system* convencional 38MLQB12M5 de capacidade de 12.000 BTU/h que se encontra instalado em uma sala de estar de aproximadamente 15 m² em uma residência. Foram utilizados materiais e equipamentos para o auxílio de leituras de temperatura, pressão e o consumo de energia elétrica.

3.2.1 Analisador de energia Minipa et 5062

Este modelo de osciloscópio é responsável por efetuar as leituras de tensões e corrente no modelo de potência por meio de contorno de ondas. Igualmente são apresentados valores numéricos como corrente de fase, tensão de fase e frequência. Com isso podemos analisar qual o consumo energético específico no aparelho em (kW/h), observasse que a unidade de medida fornecida no equipamento é em (GW/h).

3.2.2 Termômetro penta III portátil com 5 sensores *full gauge*

Esse termômetro digitais de cinco sensores tem por sua vantagem poder monitorar cinco pontos distintos de temperatura ao mesmo tempo, em uma grande faixa de temperatura que pode variar de -50 °C a 105 °C com uma precisão que pode variar de mais ou menos 0,3%. Devido a essas características do equipamento ele é muito utilizado para medir as temperaturas de sistemas de ar condicionados de pequeno a grande porte, temperaturas de água e óleos e muito utilizados em equipamentos médico-hospitalares.

A operação deste termômetro é de fácil entendimento, basta apenas manter um bom contato entre a ponta do sensor com que se deseja medir a temperatura, por fim selecionar no termômetro penta a ponta que está sendo utilizada, em caso de estar usando mais de um sensor ao mesmo tempo ele também pode mostrar a média de temperatura que está sendo lida pelos sensores.

3.2.3 Manômetro

Os medidores de pressão conhecidos como manômetro analógico, são de simples funcionamento podendo medir pressão positiva como em alguns casos a pressão negativa no interior de um devido sistema ou vazo de pressão. Podendo variar sua precisão de mais o menos 0,5%.

Os manômetros utilizam de um tubo de Bourdon que é escolhido pela sua capacidade de elasticidade e de repetibilidade sem sofrer deformações. Assim a pressão é determinada através da deformação do tubo metálico que este por sua vez se encontra conectado em um ponteiro que está posicionado em cima de uma escala gráfica. Com isso essa deformação é transformada em leituras de pressão.

3.3 MÉTODOS

Os testes foram realizados em 4 etapas cada uma com o intervalo de 20 minutos, em um espaço de tempo total de 1 hora, com o equipamento na temperatura de trabalho de 17°C em refrigeração. Mas antes de realizar os testes foi efetuado de forma correta a instalação dos equipamentos de medição de energia, temperatura e pressão no sistema de climatização. Realizada a instalação do analisador de energia minipa et 5062 na entrada de alimentação elétrica do equipamento com o intuito de poder visualizar o consumo total de energia elétrica do mesmo no espaço de tempo de uma hora.

Os sensores de temperatura foram colocados a 100 mm da entrada e saída do evaporador, entrada e saída do compressor e entrada e saída do condensador para constatar a temperatura de funcionamento do sistema, os mesmos foram colocados na parte superior da tubulação para evitar uma falsa leitura e de forma em que ficaram em total contato com a tubulação de cobre do equipamento, além disso eles foram isolados com isolamento térmico para que não sofressem influência da temperatura externa.

O manômetro foi instalado na entrada do compressor e na saída do compressor para poder efetuar a leitura de pressão de baixa e pressão de alta do sistema que está sendo analisado. Efetuado todas as instalações dos equipamentos de medição, deu-se início a verificação dos padrões de instalação estão de acordo com que o fabricante está recomendando no manual de instalação, para que o equipamento não tenha nem um tipo de interferência no seu modo de funcionamento, os principais itens a serem observados são o desnível entre as unidades internas e externas, distâncias entre as unidades e distância que a unidade evaporadora foi instalada do forro para que tenha vazão de ar correta.

Para efetuar o cálculo de superaquecimento do sistema foi utilizado o manômetro e o penta de cinco pontas. No manômetro foi utilizado só para a leitura da pressão de baixa ou sucção do sistema, esse dado só foi colhido quando o sistema se estabilizou com a leitura manométrica já obtida vamos para o quadro 1 de temperatura saturada x pressão para encontrar a temperatura de evaporação saturada. Já o com termômetro foi obtida a temperatura de sucção do compressor, depois de coletar os dados é usado a equação 02 para obter o superaquecimento do sistema de refrigeração.

Para obter o COP foi coletado os dados de pressão manométrica de baixa (sucção) e alta (compressão) do sistema, com o uso auxílio do termômetro foi efetuada a leitura de temperatura de entrada e saída do evaporador, temperatura de entrada e saída do compressor e temperatura de entrada e saída do condensador. Com essas informações obtidas foi encontrado as entalpias

no Quadro 3 e Quadro 4 para posterior calcular o COP do equipamento. Que será calculado utilizando a equação 2.

Quadro 3- propriedades termodinâmicas do refrigerante R-22 saturado

T (°C)	P (kPa)	v _l (l/kg)	v _v (l/kg)	h _l (kJ/kg)	h _{lv} (kJ/kg)	h _v (kJ/kg)	s _l (kJ/kg.K)	s _v (kJ/kg.K)
5	583,6	0,7889	40,35	205,9	201,2	407,1	1,0212	1,7446
8	640,4	0,7955	36,85	209,5	198,7	408,2	1,0338	1,7405
10	680,5	0,8000	34,71	211,9	197,0	408,8	1,0422	1,7378
12	722,4	0,8046	32,72	214,3	195,2	409,5	1,0506	1,7351
14	766,2	0,8094	30,87	216,7	193,4	410,1	1,0589	1,7324
16	812,0	0,8142	29,14	219,2	161,6	410,7	1,0673	1,7298
30	1191	0,8519	19,74	236,7	177,9	414,5	1,1253	1,7120
32	1255	0,8579	18,71	239,2	175,8	415,0	1,1336	1,7095
34	1321	0,8641	17,73	241,8	173,6	415,4	1,1418	1,7070
36	1389	0,8705	16,82	244,4	171,4	415,8	1,1501	1,7045
38	1460	0,8771	15,95	247,0	169,2	416,2	1,1583	1,7020
50	1942	0,9219	11,67	263,3	154,6	417,8	1,2081	1,6864
52	2032	0,9305	11,08	266,1	151,9	418,0	1,2165	1,6837
54	2126	0,9394	10,52	268,9	149,2	418,1	1,2249	1,6809

Fonte: adaptada da tabela de Stoecker (2003).

Quadro 4 - propriedades termodinâmicas do refrigerante R-22 superaquecido

T (°C)	V (l/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)
T _{sat} = 50 °C; P _{sat} = 1942 kPa			
55	12,17	423,0	1,7024
60	12,64	428,0	1,7175
65	13,09	432,9	1,7319
70	13,52	437,6	1,7458
75	13,93	442,3	1,7593
80	14,33	446,8	1,7723

Fonte: adaptada da tabela de Stoecker (2003).

Posterior a todas as informações já obtidas foi dado início a análise de dados com que o fabricante nós fornece em seu manual de instalação e os dados coletado nós testes realizados no equipamento, para diagnosticar se com o passar do tempo e desgastes natural de alguns componentes o aparelho pode ou não perder rendimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com os procedimentos descritos nos métodos foi dado início aos testes no dia 12 e 13 de outubro de 2019. Primeiro foi utilizado do auxílio de uma trena para verificar o padrão de instalação, se condiz com o descrito no manual do fabricante. Pois se o equipamento não estiver instalado de forma que atenda todas as normal que o fabricante pede em seu manual

de instalação o aparelho pode apresentar alguns problemas como baixo rendimento térmico, baixa ventilação entre outros.

O fabricante Midea destaca em seu manual que a unidade evaporadora seja instalado com um espaço mínimo entre a parte superior do aparelho e o teto como podemos observar no Quadro 2 essa distância é de 0,10 metros para que tenha um espaço suficiente para o ar retornar para a serpentina do evaporador, conforme conseguimos visualizar na Figura 4.

Figura 4- espaço entre evaporadora e o teto



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Como podemos observar o espaço entre a unidade evaporadora e o teto está dentro do que o fabricante solicita em seu manual de instalação, para que tenha uma boa troca térmica entre o equipamento e o ambiente a ser climatizado.

Outro item estabelecido pelo fabricante Midea é a distância da instalação entre as unidades evaporadora e unidade condensadora, que como podemos ver no Quadro 2 essa distância não pode ultrapassar o limite de 15 metros de comprimento, para que o compressor não tenha sua vida útil reduzida e o equipamento não sofra interferência em seu funcionamento, na Figura 5 podemos ver a distância que está instalado um equipamento do outro.

Figura 5- distância entre evaporadora e condensadora



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Conforme podemos constatar a distância que a entre a evaporadora e a condensadora é de 1,20 metros, atendendo ao que é solicitado no manual do fabricante, assim evitando quaisquer tipo de perda de energia técnica ao longo da linha do fluido refrigerante. De acordo com Midea o desnível entre a evaporadora e a condensador é também um item que deve ser levado em consideração para que o equipamento tenha um correto funcionamento.

Como destacado no Quadro 2 este desnível não pode ultrapassar o limite máximo de 10 metros, a Figura 6 informa o desnível da instalação entre as unidades evaporadora e condensadora.

Figura 6- desnível entre evaporador e condensador



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Observamos que o condensador está instalado 0,40 metros mais baixo que o evaporador, o equipamento está instalado de forma a respeitar o desnível máximo informado pelo fabricante do aparelho, assim não sofrendo nem um tipo de influência em seu desempenho final.

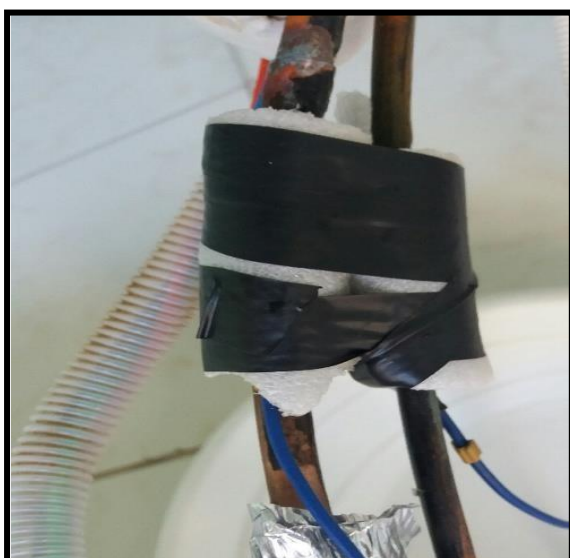
Com todos os requisitos de instalação cumpridos deu-se início as instalações dos sensores para efetuar a leitura das temperaturas de entrada e saída do evaporador, entrada e saída do compressor e entrada e saída do condensador. As instalações dos sensores é demonstrada na Figura 7 e Figura 8.

Figura 7- sensores de temperatura na entrada e saída do compressor



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Figura 8- sensor de temperatura na entrada e saída do evaporador



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

O equipamento foi ligado e os dados de temperatura juntamente com as leituras de pressão do sistema, foram coletados em quatro etapas no intervalo de 20 minutos cada, em um espaço de tempo total de 1 hora de teste, depois de todos os dados coletados foi efetuado uma média nos resultados coletados como podemos ver no Quadro 5. Utilizando a pressão de trabalho do sistema e as temperaturas encontradas, com o auxílio dos Quadro 3 e Quadro 4 encontramos os valores para as entalpias, conforme Quadro 5.

Quadro 5- dados coletados nos testes

Local do sensor	Pressão (Psi)	Temperatura (°C)	Entalpia (kJ/kg)
Entrada compressor	65	8	408,2
Saída compressor	255	50	437,6
Entrada evaporador	65	10	236,7
Saída evaporador	65	5	407,1
Entrada condensador	255	47	432,9
Saída condensador	255	30	236,7

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Já com todos os dados coletados podemos iniciar o cálculo do superaquecimento do sistema de climatização, para isso vamos utilizar a Equação 2, onde a temperatura de sucção (T2) menos a pressão manométrica, transformada em temperatura de evaporação (T1), que encontrasse no Quadro 1.

$$\text{superaquecimento} = 8 - 3 \quad (2)$$

$$\text{superaquecimento} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Podemos ver que o resultado encontrado na Equação 2 atende o que o fabricante Midea pede em seu manual de instalação, para que o equipamento possa trabalhar dentro dos parâmetros estabelecido sem sofrer perda de rendimento por excesso ou falta de fluido refrigerante R22.

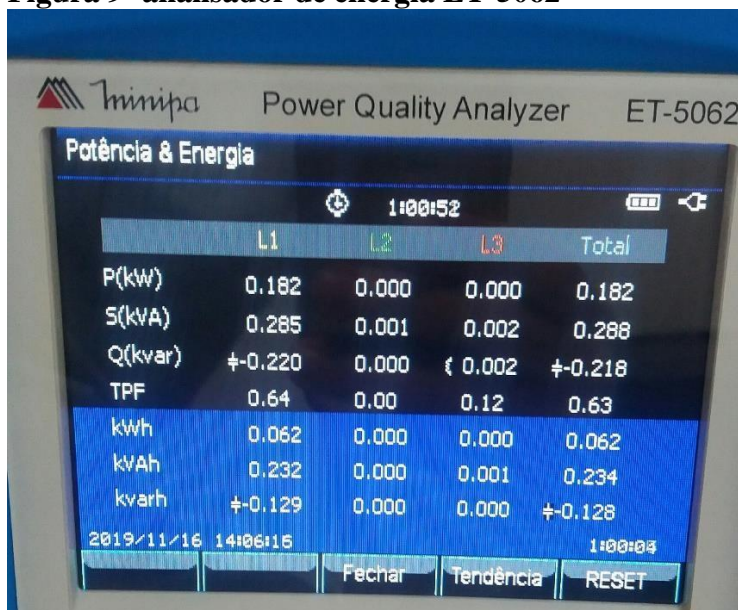
A partir de todas as informações obtidas no Quadro 5 podemos calcular o coeficiente de performance do equipamento através da Equação 1.

$$\text{cop} = \frac{407,1 - 236,7}{437,6 - 408,2} \quad (1)$$

$$\text{cop} = 5,79 \text{ W/W}$$

Como podemos perceber o COP calculado se mostrou maior que o COP fornecido pelo manual do fabricante no Quadro 2, o mesmo é de 3,25 W/W, demonstrando assim que o equipamento é mais eficiente do que o fabricante informa. Porém outro item que devemos levar em conta é o consumo elétrico do equipamento, para colhemos este dado utilizamos de um analisador de energia elétrica. Como vemos na Figura 9.

Figura 9- analisador de energia ET-5062



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Observamos que o dado obtido pelo analisador de energia de 62 kWh é muito maior do que o fabricante nos fornece no Quadro 2 que é de 22,7 kWh/mês. Analisando o coeficiente de performance e o consumo elétrico do equipamento podemos diagnosticar que o equipamento está consumindo muito mais energia elétrica do que o informado pelo manual do fabricante. Analisando os dados obtidos com as informações fornecidas pelo fabricante Midea, constatamos que o COP obtido em teste foi de 1,78% mais elevando que o disponibilizado no manual do equipamento.

Mas em contrapartida o consumo de energia elétrica final no período de 1 hora foi de 2,73% mais alto do que o informado no manual do fabricante no Quadro 2. No final dos testes observou-se que o equipamento instalado a 5 anos tem desempenho diferente do que o seu manual informa, esse gasto excessivo de energia elétrica pode ter vários fatores, um deles pode ser por desgastes naturais de alguns componentes elétricos com o passar do tempo e de seu uso.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando realizamos uma pesquisa devemos pesquisar algo prazeroso. Desta forma, optou-se por pesquisar na área de climatização buscando uma forma de verificar se com o passar do tempo e com o seu uso os equipamentos tem mais consumo elétrico e baixo troca energética. Concluimos que o objetivo foi alcançado, pois este estudo ajudou a entender de forma bem ampla que os sistemas de climatização sofrem desgastes com o passar do tempo e do seu uso, assim acarretando com perda de eficiência em seu sistema.

Pode sugerir que este estudo seja aprofundado, buscando descobrir quais componentes são responsável por este aumento de consumo de energia, como aumentar a vida útil dos mesmos e se viabilizaria ou não uma possível substituição dos componentes responsável por este aumento no consumo elétrico.

REFERÊNCIAS

- CALM, M. J., DOMANSKI, P. A. Substituição do R-22: **Panorama Atual**. Revista **ABRAVA**, **222:40-43**, Fevereiro, 2005. Disponível em: <<http://www.bfrl.nist.gov/863/HVAC/pubs/PDF/Calm%20Domanski,%20R22%20Replacement%20Status%20%28in%20Portuguese%29,%20Rev.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2019.
- CAMPANHOLA, Filipe P; MICHELS, Ademar; MARTINS, Geomar M. **Avaliação de sistema de condicionamento de ar para salas de prédio público**. Universidade Federal de Santa Maria UFSM Pós-graduação em eficiência energética. 2013.
- COSTA, Ennio Cruz da. **Física aplicada à construção: Conforto térmico**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1991.
- COSTA, F. N. **Análise Comparativa da Válvula de Expansão Eletrônica e do Tubo Capilar em Sistemas de Refrigeração**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.
- ENERGIA, Ministério de Minas e. 2019. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138781/0/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Janeiro+-+2019.pdf/06f9d12f-7ec4-4dd6-add2-74a8c46a62bb>>. Acesso em: 29 ago. 2019.
- FAGUNDES NETO, Marlipe Garcia. **Identificação, modelagem, análise e estudo de medidas para o controle dos níveis de ruído por compressores herméticos rotativos**. 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

FILIPPO FILHO, Guilherme. **Bombas, Ventiladores e Compressores**. São Paulo: Érica, 2015.

GODOI, José M. A Eficiência Energética: **Um Modelo de Governança de Energia para a Indústria sob Requisitos de Sustentabilidade**. 2011. Dissertação de Mestrado. USP. São Paulo – SP.

IFSC. **Instalador de refrigeração e climatização doméstica**. 2014. Curso de Formação Inicial e Continuada, IFSC São José, São José, 2014.

KOMECO. **Manual de Instalação**. Porto Alegre: modelo KOS, 2014.

LUCATEL, Cleiton. **Eficientização energética em climatizadores de ar utilizando partida suave na comutação do compressor e desligamentos pré-programados**. 2017. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017.

MIDEA. **Manual de Instalação, Operação e Manutenção**. Manaus: modelo 38MLQB12M5, 2012.

MILLER, Rex; MILLER, Mark R. **Ar-condicionado e refrigeração**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2014.

NASCIMENTO, Fernando Costa; NOBREGA, Claudia Rosa do Espirito Santo; MOURA, Luiz Felipe Mendes de. **Análise do cop de um sistema de refrigeração por compressão de vapor com tubo capilar e válvula eletrônica como elemento de expansão**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

PANESI, Ricardo. **Termodinâmica para sistemas de refrigeração e ar condicionado**: São Paulo: Artliber Editora, 2009.

PIMENTA, J. **Refrigerantes**. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia 2011.

SANTOS, Anderson Pinho dos. **Estudo e avaliação de performance em sistemas de ar condicionado: um comparativo entre sistemas *Split system* e sistema vrv (vazão de refrigerante variáveis)**. 2017. 67 f. tese (doutorado) - curso de engenharia de processos, universidade federal do Pará, Belém, 2017.

SILVA, José de Castro; SILVA, Ana Cristina G. Castro. **Refrigeração e climatização para técnicos e engenheiros**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda., 2007.

SOARES, Sérgio. **Treinamento Linha Residencial: Pós Vendas**. Apostila de Programa de Capacitação Profissional Midea Carrier, 2014.

STOECKER, W.F.; SAIZ JABARDO J.M. **Refrigeração Industrial**. 2ª ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 2003.