

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**JOSÉ SÉRGIO RIBEIRO JÚNIOR**

**QUANTIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DO CONSUMO DE UM APARELHO DE  
AR CONDICIONADO SPLIT EM FUNÇÃO DA COTA ENTRE O  
EVAPORADOR E CONDENSADOR**

**SANTOS/SP**

**2019**

**JOSÉ SÉRGIO RIBEIRO JÚNIOR**

**QUANTIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DO CONSUMO DE UM APARELHO DE  
AR CONDICIONADO SPLIT EM FUNÇÃO DA COTA ENTRE O  
EVAPORADOR E CONDENSADOR**

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. Deovaldo de Moraes Júnior e da Profa. Dra. Marlene Silva de Moraes.

**SANTOS/SP**

**2019**

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

Ribeiro Júnior, José Sérgio.  
Quantificação experimental do consumo de um aparelho de ar condicionado Split em função da cota entre o evaporador e condensador.  
José Sérgio Ribeiro Junior.  
2019.  
49 f.

Orientadores: Prof. Dr. Deovaldo de Moraes Júnior e Prof. Dra. Marlene Silva de Moraes.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2019.

1. Ar condicionado. 2. Ar condicionado residencial. 3. Eficiência energética. 4. Split inverter. 5. Instalação de ar condicionado. Moraes Junior, Deovaldo de. II. Moraes, Marlene Silva de. III. Quantificação experimental do consumo de um aparelho de ar condicionado Split em função da cota entre o evaporador e condensador.

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas - Unisanta

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais José Sérgio Ribeiro e Iliete Ferreira Pinto Ribeiro, à minha namorada Beatriz Alves Lopes e minha avó Edna Castegnaro.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço,

Primeiramente a Deus por todas as conquistas e pelo dom da vida.

Aos Professores Dr. Deovaldo de Moraes Júnior e Dra. Marlene Silva de Moraes, por toda dedicação e empenho dispendido neste trabalho.

Ao Professor Dr. Vitor da Silva Rosa pelo suporte estatístico na construção do trabalho.

À equipe do laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília: Álvaro Luiz Moreira Conrado, Irineu Penha da Ressureição, Volnei de Lemos e Vitor Dias de Paula pelo apoio técnico na montagem da bancada experimental.

A todos que contribuíram de alguma forma com este trabalho.

*“... Agora, isto não é o fim. Nem sequer é o começo do fim. Mas é, talvez, o fim do começo. ” (Winston Churchill)*

## RESUMO

O aumento da demanda por equipamentos de ar condicionado residencial no Brasil nos últimos anos, foi o grande responsável pelo incremento no consumo de energia elétrica nas residências, fazendo com que os usuários busquem cada vez mais por tecnologias mais eficientes. Frente a uma falta de referência por parte dos fabricantes de ar condicionado residencial, no que diz respeito aos modos de instalação que proporcionam maior eficiência ao sistema, este trabalho teve como objetivo analisar o consumo e capacidade de refrigeração de um *split* residencial de 9000 BTU/h de capacidade nominal, instalado em diferentes arranjos verticais, com o intuito de elucidar em qual deles se caracteriza o menor consumo energético. Foi projetado e montado uma bancada experimental, capaz de movimentar-se em três diferentes patamares verticais, tanto do lado da evaporadora quanto do lado da condensadora, em desnível máximo de 2 metros, foram realizados nove diferentes experimentos em posições diferentes de instalação. A evaporadora foi submersa em água com um fluxo permanente, de modo que se valendo da equação fundamental da calorimetria, foi possível determinar a capacidade de refrigeração efetiva do sistema, pois além do fluxo de água, também se aferiram as temperaturas de entrada e saída do fluido no recipiente supracitado. Já no lado da condensadora, foi instalado um alicate amperímetro, para que por meio da primeira lei de Ohm, fosse possível determinar o consumo do conjunto (evaporadora e condensadora), buscando assim verificar qual arranjo apresentava o menor consumo. Os nove experimentos foram divididos em três grandes níveis, sendo eles: Condensadora no mesmo nível da evaporadora, condensadora abaixo da evaporadora e condensadora acima da evaporadora, permitindo assim alcançar um total de 1116 medições em um regime de repetições quadruplicado. Com as aferições, foi possível concluir que os arranjos que apresentam a condensadora abaixo da evaporadora, proporcionaram em média 10,1% a menos de consumo energético se comparado aos modos de instalação que possuíam a evaporadora acima do nível da condensadora. Também foi mensurado que a capacidade de refrigeração média com o evaporador submerso em água foi de 4646 BTU/h. Inferiu-se ainda, que os catálogos técnicos dos fabricantes deste tipo de condicionadores de ar, necessitam informar em qual arranjo vertical de instalação incorre um menor consumo. Considerando o volume de unidades de ar condicionado residencial comercializados no Brasil em 2014, esse ganho de eficiência pode representar uma economia de energia elétrica de até R\$ 45.000.000,00 em um ano.

**Palavras Chave:** Ar condicionado. Ar condicionado residencial. Eficiência energética. *Split inverter*. Instalação de ar condicionado

## ABSTRACT

The increase of the demand for residential air conditioning equipment in Brazil in recent years has been responsible for the upsurge in the consumption of electric energy in homes, causing users to seek more and more efficient technologies. Faced with a lack of reference by the residential air conditioning manufacturers, regarding the installation modes that provide greater efficiency to the system, this paper had the objective of analyzing the consumption of a residential split system of 9000 BTU/h of nominal capacity installed in different vertical arrangements, to elucidate in which one of them the lowest energy consumption is characterized. Using an experimental bench, capable to move in three different vertical levels, both on the side of the evaporate and in the side of the condenser, nine different experiments were carried out in different installation positions. The evaporator was flooded in water with a constant flow, so that by using the fundamental calorimetry equation, it was possible to determine the effective cooling capacity of the system, since besides the water flow, the inlet and outlet temperatures of the system were also measured. On the side of the condenser, an ammeter was installed, so that by means of the first law of Ohm, it was possible to determine the consumption of the set (evaporator and condenser), to verify which arrangement had the lowest consumption. The nine experiments were divided into three large levels: Condenser at the same level as the evaporator, condenser below the evaporator and condenser above the evaporator. After 1116 measurements, it was found that the arrangements with the condenser below the evaporator provided in average of 10.1% less energy consumption compared to the modes of installation with the evaporator above the condenser level. It was also measured that the average cooling capacity with the submerged evaporator in water was 4646 BTU / h. It was also stated that the technical catalogs of the manufacturers of this type of air conditioners needs to inform in which vertical installation arrangement incurs a lower consumption. Considering the volume of residential air conditioning units sold in Brazil in 2014, this efficiency gain can represent an electric energy savings of up to R \$ 45,000,000.00 in a year.

**Keywords:** Air conditioning. Residential air conditioning. Energy efficiency. Inverter Split System. Installation of air-conditioning

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção industrial (variação linha branca) .....	14
Figura 2 –Ciclo padrão de refrigeração por compressão mecânica de vapor ...	18
Figura 3 – Diagrama de Mollier para o ciclo de refrigeração ideal por compressão mecânica de vapor.....	19
Figura 4 – Principais componentes de um ar condicionado tipo janela.....	20
Figura 5 – Principais componentes de um ar condicionado tipo Split .....	21
Figura 6 – Vista geral da instalação do Split na bancada experimental: 1) Termômetro com fio 2) conexão de cobre 3) unidade condensadora 4) alicate amperímetro 5) parte eletrônica da evaporadora 6) termômetro de agulha 7) mangueira de saída de água do evaporador 8) evaporador submerso 9) mangueira de entrada de água no recipiente com o evaporador .....	24
Figura 7 – Rotâmetro que foi instalado na alimentação de água do evaporador submerso.....	26
Figura 8 – Termômetro digital instalado na admissão de ar do condensador ...	27
Figura 9 – Alicate amperímetro para aferição da corrente do sistema .....	28
Figura 10 – Alicate amperímetro para aferição da tensão de entrada no equipamento.....	28
Figura 11 – Termômetro digital do tipo espeto calibrado .....	29
Figura 12 – Termômetro digital do tipo espeto conectado na saída do evaporador submerso.....	30
Figura 13 – Experimentos realizados na bancada em diferentes níveis verticais de instalação .....	31
Figura 14 – Definição dos níveis do planejamento fatorial .....	34
Figura 15 – Resultado médio dos 9 experimentos por repetição” .....	36
Figura 16 – Estratificação das medições de consumo por categorias.....	37
Figura 17 – Efeitos principais para resultados extraído do Minitab®.....	38
Figura 18 – Interação para resultado extraído do Minitab® .....	38
Figura 19 – Estratificação das medições de capacidade por categorias .....	39

## LISTA DE FIGURAS

Tabela 1 – Categorização dos experimentos .....	33
Tabela 2 – Atribuição dos níveis no planejamento fatorial .....	33
Tabela 3 – Valores mínimos e máximos adquiridos nos experimentos para: Temperatura de entrada de ar no condensador.....	35
Tabela 4 – Valores mínimo e máximos adquiridos nos experimentos para: Tensão de entrada no sistema .....	36

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

$Q_{\left(\frac{\text{cal}}{\text{h}}\right)}$	-	Quantidade de calor em caloria por hora
$Q_{\text{cd}}$	-	Quantidade de calor liberado para o ambiente na condensação
$Q_{\text{ev}}$	-	Quantidade de calor absorvido do ambiente no evaporador
$P$	-	Pressão
$h$	-	Entalpia
$t_s$	-	Tempo em segundos
$V$	-	Vazão volumétrica
$\Delta_T$	-	Variação de temperatura
BTU	-	<i>British Thermal Unit</i>
GPM	-	Galões por minuto
$P_{(W)}$	-	Potência elétrica em Watt
$I_{(A)}$	-	Corrente elétrica em Ampère
$U_{(V)}$	-	Tensão elétrica em Volt
$t$	-	Tempo
L	-	Litro
TR	-	Toneladas de refrigeração
g	-	Gramas
Kg	-	Quilo
m	-	Metro
V	-	Volt
W	-	Watt
KW	-	Quilowatt
A	-	Ampere
$\rho$	-	Massa específica
$c_p$	-	Calor específico
T	-	Temperatura
$\omega$	-	Vazão mássica

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
1.1	Generalidades .....	13
1.2	O mercado de linha branca no Brasil .....	13
1.3	O mercado e o impacto do ar condicionado residencial no Brasil .....	14
1.4	Objetivos .....	15
1.5	Justificativa e relevância do tema .....	16
1.6	Organização da dissertação .....	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	18
2.1	Ciclo de refrigeração por compressão mecânica de vapor .....	18
2.2	Principais tipos de ar condicionado residencial .....	20
2.3	Compressores do tipo inverter .....	22
2.4	Planejamento fatorial experimental .....	22
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	24
3.1	Construção da bancada experimental .....	24
3.2	Critérios para medição da vazão e capacidade .....	25
3.3	Medições na unidade condensadora .....	27
3.4	Cálculo do $\Delta T$ da água no evaporador submerso .....	29
3.5	Arranjo do equipamento em cada experimento .....	30
3.6	Critérios de medição e dados levantados .....	32
3.7	Categorização dos experimentos .....	32
3.8	Planejamento fatorial .....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
4.1	Resultados dos experimentos .....	35
5	CONCLUSÕES .....	40
5.1	Trabalhos futuros .....	40
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42
	APÊNDICE A – Resultados das medições .....	44
	APÊNDICE B – Exemplo de cálculo da carga térmica .....	49

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 Generalidades**

Os sistemas de ar condicionado estão presentes no dia a dia de cada ser humano, seja em veículos, estabelecimentos comerciais ou indústrias, sempre buscando oferecer conforto térmico, tratamento e distribuição do ar ou até mesmo provendo condições controladas para processos industriais específicos.

O aumento da demanda por equipamentos de ar condicionado por parte da população, principalmente alavancada pela evolução do consumo em decorrência da atividade econômica nas últimas duas décadas, conectado ao aumento das tarifas de energia elétrica, faz com que a adoção de sistemas de climatização eficientes seja fator preponderante na tomada de decisão por parte dos usuários destes sistemas.

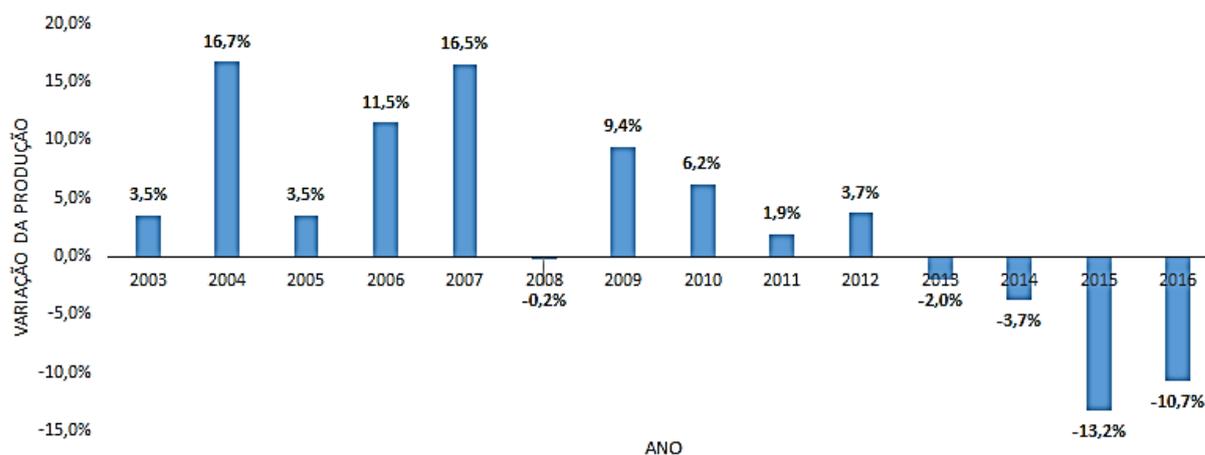
De acordo com Gênier (2013), diante do grande impacto do consumo energético atrelado aos equipamentos de ar condicionado, há um constante interesse em tornar esses sistemas mais eficientes e sustentáveis, de modo que a economia de energia no tocante à climatização, em sua maior parte, está associada a eficiência de seus componentes e também como estes sistemas estão instalados.

### **1.2 O mercado de linha branca no Brasil**

Os eletrodomésticos denominados como “linha branca” são compreendidos como todos aqueles que, historicamente, atendem as necessidades básicas dos lares brasileiros e são, em sua maioria, de maior porte, tais quais: geladeiras, fogões, micro-ondas, *freezers* e ar condicionado.

Mascarenhas (2005) cita que, muitas crises impactaram os setores varejista e industrial de eletrodomésticos no Brasil, principalmente o da “linha branca”, no período de 1990 até 2003, fazendo com que incertezas e oscilações na relação oferta/demanda fossem constantes neste período, afugentando grandes indústrias multinacionais e apequenando o comércio varejista no país a época.

Segundo o relatório do BRADESCO (2017), o grande momento da indústria de “linha branca” no Brasil e conseqüentemente o período de maior consumo, se deu entre os anos de 2003 e 2012, acompanhado a evolução do cenário econômico do país e ao aumento de poder de compra da população, conforme demonstrado Figura 1.



**Figura 1 – Produção industrial (variação linha branca)**

Fonte: (BRADESCO, 2017)

Pode-se observar na Figura 1 que de 2013 a 2016 houve uma retração considerável na atividade produtiva da “linha branca” no Brasil, porém no acumulado do período analisado, o saldo foi positivo em 35,7%, considerando 2002 como ano base para o levantamento.

### 1.3 O mercado e o impacto do ar condicionado residencial no Brasil

Equipamentos de ar condicionado para uso residencial, também são caracterizados como “linha branca”, de modo que, segundo Forato (2016), no período de 2010 a 2014 o aumento destes produtos nas residências brasileiras foi de 27,9%, somando em 2014 quase 6 milhões de TR, o que gerou um volume de vendas na casa dos R\$ 4 bilhões para o setor varejista.

Dados do Balanço Energético Nacional de 2017 BRASIL (2017) revelam que o consumo de energia nas residências brasileiras é responsável por 10,3% do total de energia consumida no país, além de elucidar que de 2007 a 2016 houve um aumento significativo de aproximadamente 20% no consumo total de energia no país, número este bastante impactado pelo aumento do consumo residencial no período.

O paralelo entre o aumento de consumo de energia elétrica e o aumento nas vendas de ar condicionado no Brasil é inevitável, nesta linha, Watanabe (2016) avalia que o consumo de um ar condicionado residencial de pequeno porte pode vir a ser 40 vezes maior que a de um ventilador igualmente pequeno, fazendo com que o primeiro elemento se torne o grande abjeto no consumo de energia elétrica.

Watanabe (2016) ressalta ainda que o consumo energético residencial

atrelado à climatização tem superado e muito o consumo vinculado ao chuveiro elétrico, mudando assim a curva média de consumo em residências no decorrer do dia, que antigamente era entre 18:00 e 20:00, quando as pessoas retornavam para suas casas e ligavam os chuveiros, para o meio da tarde, onde se encontram as temperaturas mais altas do dia e conseqüentemente a maior demanda por ar condicionado.

O grande impacto dos sistemas de climatização no consumo energético residencial, faz com os consumidores destes sistemas busquem por alternativas que demandem menos energia e conseqüentemente sejam mais eficientes, o que levou os fabricantes de ar condicionado a lançarem mão de inovações tecnológicas que fossem de encontro aos anseios deste mercado consumidor.

Sendo o compressor o principal componente em um sistema de ar condicionado e conseqüentemente o que também mais consome energia elétrica, o foco da indústria deste setor se deu principalmente na direção do aumento da eficiência energética neste componente, com a adoção da tecnologia *inverter*, que de acordo com Rezende (2012), apresenta em média 40% de redução no consumo de energia se comparado com tecnologias convencionais, pois o equipamento é capaz de trabalhar para atingir a temperatura desejável de maneira mais rápida, de modo que a rotação do compressor varia em consonância com a temperatura do ar exterior e também com a requerida no ambiente a ser climatizado.

O conjunto compressor/condensador no modelo *split*, é comumente instalado no ambiente externo, em função da disponibilidade de área e pé direito alto, sem a preocupação com o desnível entre esse conjunto e o binário válvula de expansão/evaporador. A literatura é carente de valores concernentes à influência do desnível entre os conjuntos supracitados e o consumo de energia.

#### **1.4 Objetivos**

O presente trabalho teve como objetivo geral verificar o impacto no consumo energético e a capacidade de refrigeração de um ar condicionado do tipo *split inverter* residencial de 9.000 BTU/h, instalado em diferentes arranjos de desnível entre evaporadora e condensadora.

O experimento visou, como objetivos específicos:

- a) Prover e montar uma unidade experimental com flexibilidade, para quantificar o consumo de energia e a capacidade de refrigeração em função da disposição do par compressor/condensador em relação ao conjunto válvula de expansão/evaporador.
- b) Propor um mecanismo de análise da capacidade efetiva do sistema;
- c) Medir o consumo energético dos diferentes arranjos verticais de instalação.
- d) Desenvolver mecanismos para que as condições ambientais se aproximem ao máximo de uma condição estável.
- e) Empregar um mecanismo para aferição real da capacidade efetiva do conjunto.
- f) Criar isonomia nas medições para não interferência nos resultados dos experimentos.

### **1.5 Justificativa e relevância do tema**

Frente ao avanço na demanda por condicionadores de ar residencial, atrelado ao forte impacto que estes sistemas ocasionam no consumo energético das casas brasileiras, o desenvolvimento de técnicas e artifícios, que vão de encontro no incremento da eficiência energética destes sistemas, apresentam por si só forte relevância.

A escassez de literatura sobre critérios de instalação de ar condicionado residencial, faz com este trabalho seja um importante direcionador no sentido de como buscar maior eficiência neste tipo de equipamento, acarretando assim menor consumo de energia elétrica ao usuário.

### **1.6 Organização da dissertação**

Essa dissertação está estruturada da seguinte forma:

No capítulo 1, aborda-se a introdução do trabalho, que visa quantificar o mercado de linha branca no Brasil, além de elucidar o impacto dos condicionadores de ar residencial no consumo energético das residências. Também são abordados os objetivos e a relevância do tema.

O capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica compatível com os objetivos do

trabalho, afim de embasar a dissertação no tocante ao tema proposto, onde apresenta-se o ciclo de refrigeração por compressão mecânica de vapor, além de ilustrar os principais tipos de ar condicionado residencial e tecnologias de compressores, abordando ainda o fundamento do planejamento fatorial experimental.

O material e os métodos são expostos no capítulo 3, que abrange a demonstração da bancada experimental, passando pelos instrumentos utilizados até chegar nas posições de instalação levados em consideração na confecção deste trabalho. Ainda neste capítulo, são apresentados os dados que foram levados em consideração nas medições, além dos critérios que embasaram as medições.

No capítulo 4 são apresentados todos os gráficos oriundos dos resultados dos experimentos realizados, demonstrando por meio de categorias, as implicações de cada levantamento. O capítulo ainda discute os resultados obtidos, trazendo ainda o impacto que algumas variáveis tiveram no desenvolvimento do trabalho e conseqüentemente nos resultados alcançados.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica compreende em organizar e embasar os preceitos básicos do ar condicionado, desde o ciclo de refrigeração até a explicação dos compressores do tipo inverter, passando pela descrição dos diferentes tipos de ar condicionado residencial, visando melhor elucidar a proposta deste trabalho, se alicerçando de uma revisão de literatura harmônica ao tema.

### 2.1 Ciclo de refrigeração por compressão mecânica de vapor

Gênier (2013) apresenta três principais ciclos de refrigeração, sendo eles: Ciclo de refrigeração por compressão mecânica de vapor, ciclo de refrigeração por absorção e o ciclo de refrigeração por jato compressão de vapor, sendo o primeiro mais amplamente utilizado para climatização que visa conforto térmico de pessoas, como por exemplo: residências, empreendimentos comerciais, automóveis, além de ser igualmente muito utilizado para congelamento e resfriamento de produtos.

Ilustra-se na Figura 2, de forma esquemática, como se estrutura o ciclo de refrigeração por compressão mecânica de vapor, identificando quais componentes compõem este sistema.

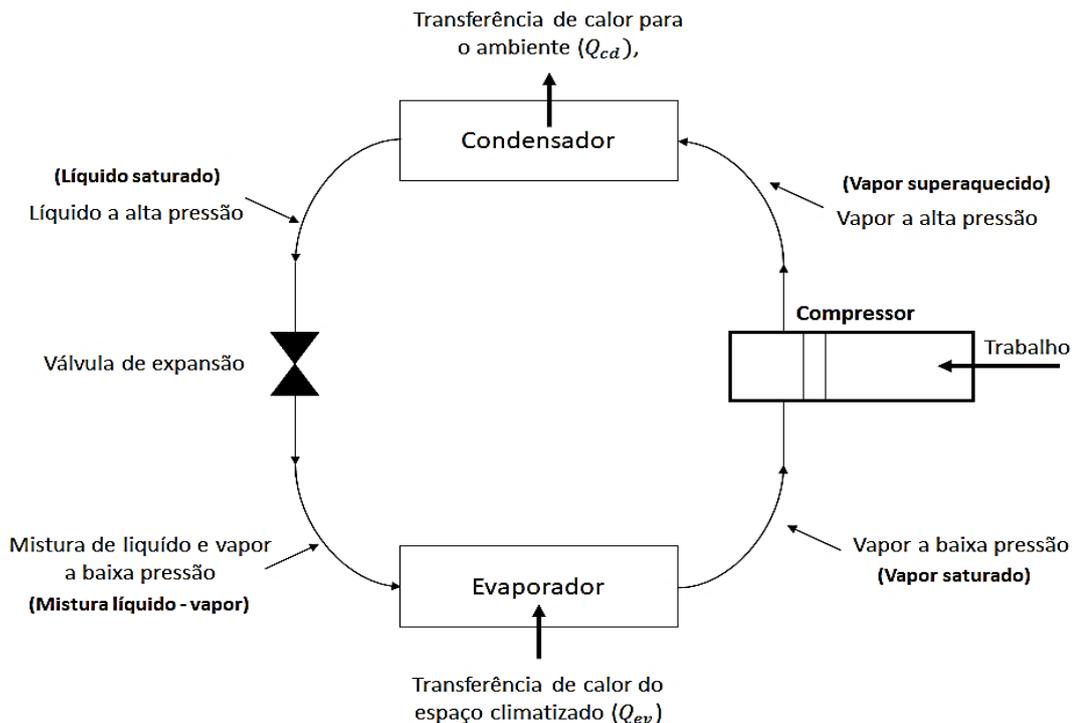
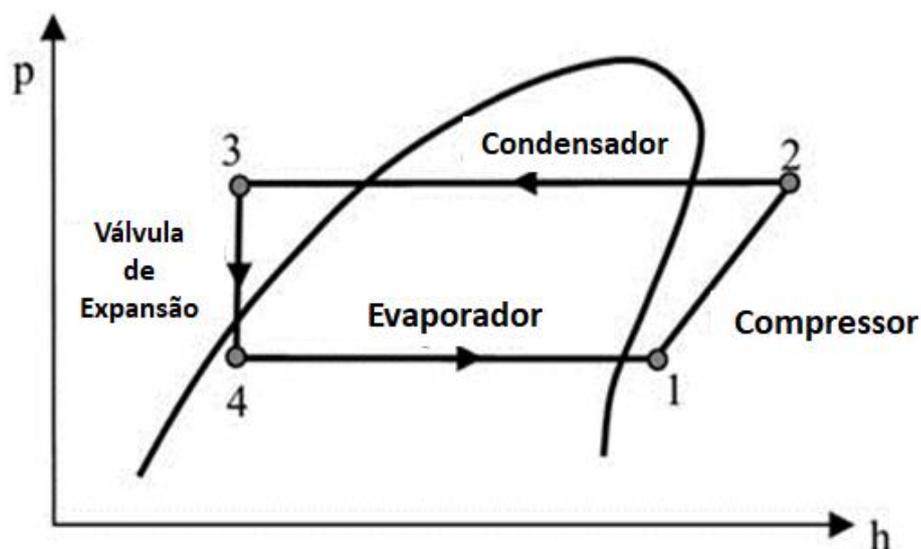


Figura 2 – Ciclo padrão de refrigeração por compressão mecânica de vapor

Fonte: Adaptado pelo autor

No sistema da Figura 2, o fluido refrigerante entra no evaporador em forma de mistura líquida-vapor em baixa pressão, realizando o trabalho de retirar calor do meio interno em que está inserido ( $Q_{ev}$ ), enquanto muda seu estado físico para vapor. Esse vapor saturado percorre a linha até chegar ao compressor, onde é comprimido e transportado, se transformando em vapor superaquecido em alta pressão, quando enfim chega ao condensador, que tem o trabalho de liberar a energia retirada do ambiente ( $Q_{cd}$ ), fazendo com que o fluido anteriormente no estado de vapor superaquecido passe para o líquido, fenômeno esse conhecido como condensação. O líquido oriundo deste processo de condensação passa então pela válvula de expansão, que tem como objetivo diminuir a pressão do fluido, para que o mesmo ingresse no evaporador, fazendo com que o ciclo se repita, Gênier (2013).

Outra representação do ciclo de compressão mecânica de vapor, pode ser também ilustrada pelo diagrama de Mollier, ou também conhecido como diagrama pressão-entalpia, que segundo Mesquita (2009), é uma ótima forma de representar o ciclo de refrigeração ideal, identificando as diferentes fases do processo nos vários componentes do sistema. A Figura 3 elucida o diagrama de Mollier para o ciclo de refrigeração ideal por compressão mecânica de vapor, onde o eixo da abscissa é referenciado pela pressão do fluido ( $p$ ) e ordenada indica a entalpia ( $h$ ).



**Figura 3 – Diagrama de Mollier para o ciclo de refrigeração ideal por compressão mecânica de vapor**

Fonte: (GOMMA, 2015)

A Figura 3 ainda ajuda na compreensão dos fenômenos inerentes aos

sistemas de ar condicionado, pois nota-se que quando o fluido sai do condensador, passando pelo mecanismo de expansão e finalmente chega ao evaporador, ilustrados pelo trajeto entre o ponto 3 e 4, tem-se um processo isoentálpico, ou seja, mesmo havendo variações na pressão do fluido e no estado físico, não há troca de calor com o meio externo, não havendo assim variação na energia cinética do sistema, enquanto que, no caminho entre o ponto 1 e 2, tem-se a existência do trabalho exercido pelo compressor, fazendo com a pressão do gás se eleve e também afetando na entalpia do sistema.

## 2.2 Principais tipos de ar condicionado residencial

Segundo Santos (2007), as aplicações de ar condicionado para conforto térmico podem ser as mais diversas, dependendo principalmente do ambiente a ser condicionado, de modo que quando se trata de condicionamento ambiental para uso residencial, os principais tipos de equipamentos são o de janela e o *Split*.

Os aparelhos denominados do tipo janela possuem uma característica construtiva em formato único, de modo que os conjuntos condensador/compressor e válvula de expansão/evaporador, são estruturadas em um módulo único, tendo como principal vantagem deste sistema a facilidade de instalação e principal desvantagem o alto nível de ruído, pois o compressor fica no interior do ambiente a ser climatizado. Na Figura 4 os componentes deste tipo de aparelho são melhor elucidados.

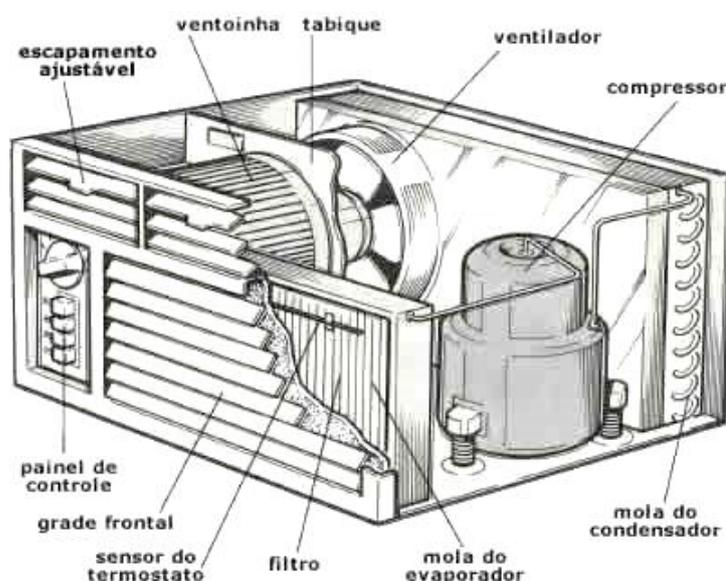
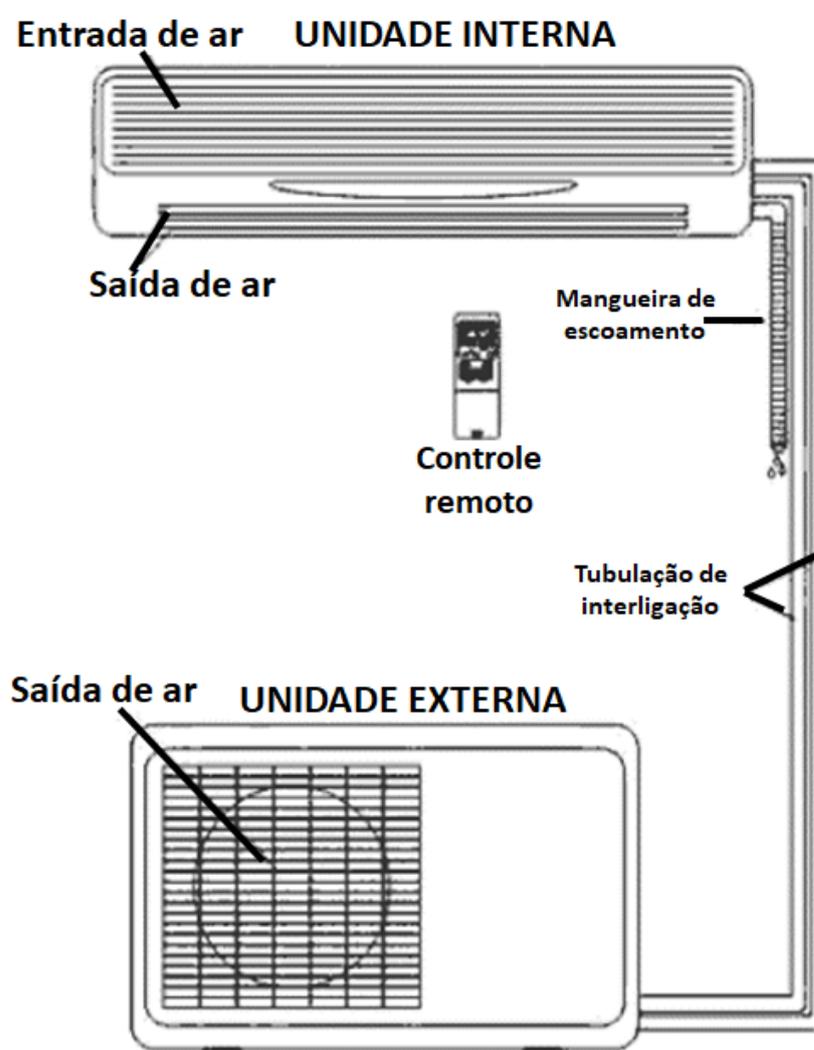


Figura 4 – Principais componentes de um ar condicionado tipo janela

Fonte: (SANTOS, 2017)

Fernandes (2010) aponta que a diferença mais marcante do ar condicionado do tipo *split* em relação ao ar condicionado de janela diz respeito à segregação do condensador e evaporador. O condensador é a parte que acomoda o compressor e fica alocado na parte externa (ao tempo) e o evaporador fica instalado no ambiente a ser climatizado (parte interna). Tem-se na Figura 5, a separação do evaporador do condensador, além de elencar os componentes que integram este sistema.



**Figura 5 – Principais componentes de um ar condicionado tipo Split**

Fonte: (FERNANDES, 2010)

Fernandes (2010) enfatiza que a principal vantagem deste sistema diz respeito ao baixo nível de ruído que o mesmo apresenta, principalmente pelo fato do compressor estar no ambiente externo, porém o custo de instalação é algo que conta

como desvantagem, pois as interligações entre unidade interna e externa são feitas por cobre e podem medir até 30 metros.

### **2.3 Compressores do tipo inverter**

O compressor é o componente que mais consome energia elétrica em um sistema de ar condicionado, Cutrim (2018) afirma que a adoção de compressores com inversor de frequência, denominados inverter, são capazes de acarretar uma economia de energia elétrica que varia entre 28 a 35% em relação à adoção de sistemas do tipo split com compressores fixos, ou seja, que não possuem variador de frequência e que operam em regime on-off.

Compressores fixos não são capazes de modular sua capacidade conforme a demanda térmica solicitada pelo usuário ou pela variação da temperatura do ar exterior, de modo que trabalham ligados em plena carga em consumo máximo ou desligados, ainda segundo Cutrim (2018), isso ocasiona uma ciclagem muito grande no componente em questão.

Santos (2017) sustenta que os aparelhos denominados inverter possuem a característica de atingir a temperatura do ambiente de maneira mais rápida, além de mantê-la constante pela não ciclagem do compressor, contribuindo não só para a redução do consumo de energia, mas também para uma considerável redução do nível de ruído.

### **2.4 Planejamento fatorial experimental**

Cunico et al. (2008), avaliam que o planejamento fatorial é uma excelente ferramenta estatística para se estudar os efeitos de uma ou mais variáveis de influência em um experimento, de modo a se tornar uma forma bastante objetiva de se avaliar e otimizar parâmetros em uma pesquisa científica.

Para Cunico et al. (2008), o planejamento fatorial é representado por  $b^k$ , em que “b” concebe o número de níveis do experimento, enquanto “k” é o número de fatores, determinando assim o número total de diferentes experimentos que serão realizados na pesquisa científica, ressaltando que os planejamentos fatoriais mais comuns são os de modelo  $2^k$ .

Além de determinar o número de experimentos a ser realizados em uma

pesquisa científica por meio de uma ferramenta estatística, é de suma importância produzir réplicas e repetições, pois permitem a determinação do erro experimental e a reprodutibilidade do esquema estudado.

Button (2006) destaca alguns benefícios na utilização do planejamento fatorial, como técnica estatística de planejamento experimental, sendo eles:

- a) Possibilita redução do número de ensaios sem prejudicar a qualidade da informação;
- b) Permite o estudo simultâneo em diversas variáveis;
- c) Oportuniza a confiabilidade dos resultados;
- d) Faculta a realização da pesquisa em etapas, permitindo um processo iterativo de acréscimo de novos ensaios;
- e) Facilita a elaboração de conclusões a partir de resultados qualitativos.

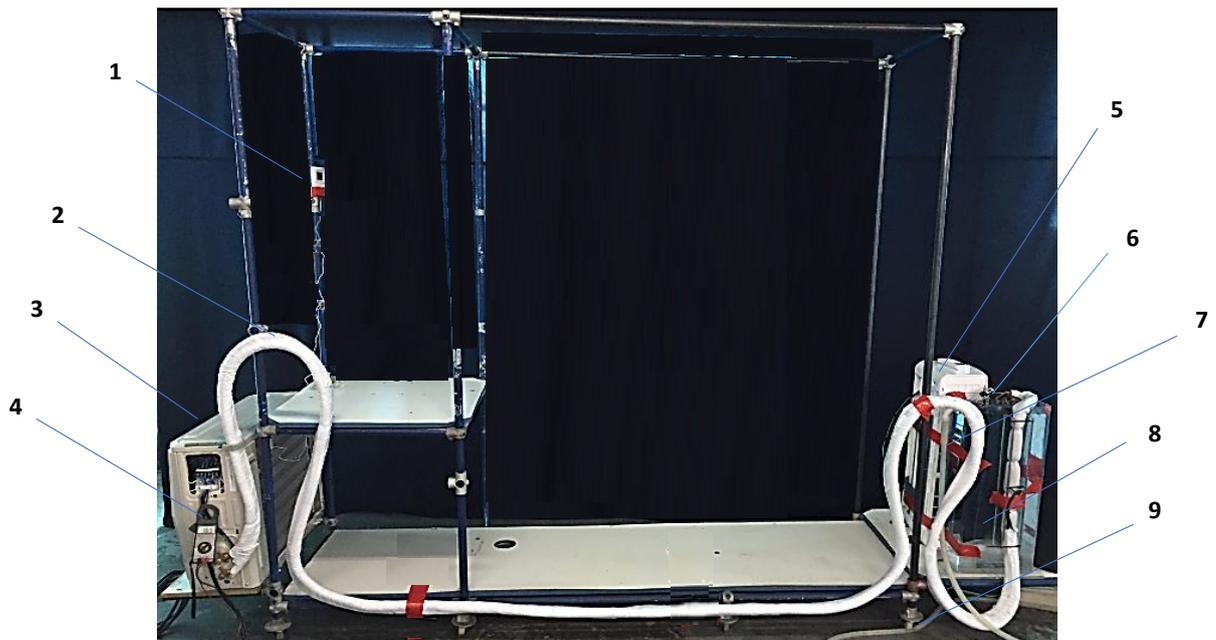
Com o planejamento fatorial pode-se visualizar graficamente os resultados e vislumbrar os dados com maior clareza e objetividade. Os gráficos de efeitos principais, avaliam a resposta média para cada nível de fator ligado por uma linha, fazendo com que seja possível a verificação se há um fator afetando a resposta de forma diferente. O gráfico de interação para resultado, que exibe o nível de interação entre os níveis, elucidando o impacto que sua interação possui, em cada fator, no resultado do experimento, de modo que, a compreensão das linhas do gráfico, permite compreender como as interações afetam a relação entre os fatores e a resposta do experimento.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Construção da bancada experimental

Foi construída uma bancada experimental que permitisse a instalação de um ar condicionado do tipo *split* com capacidade nominal de 9.000 BTU/h e compressor do tipo *inverter*. Todos os experimentos foram realizados no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília (UNISANTA).

Estão apresentados na Figura 6, a bancada e os componentes de medição, devidamente calibrados. A unidade possuía versatilidade para fixar o conjunto compressor/condensador e o conjunto válvula de expansão/evaporador em várias alturas.



**Figura 6 – Vista geral da instalação do Split na bancada experimental: 1) Indicador de temperatura 2) conexão de cobre 3) unidade condensadora 4) alicate amperímetro 5) parte eletrônica da evaporadora 6) termômetro de agulha 7) mangueira de saída de água do evaporador 8) evaporador submerso 9) mangueira de entrada de água no recipiente com o evaporador**

Todas as interligações entre as duas unidades, item 2 da Figura 6, foram feitas com tubos de cobre que respeitaram as exigências do manual do fabricante, sendo 9,52 mm de diâmetro interno para linha de sucção e 6,35 mm para a linha de expansão, ressaltando ainda que também foram acatados os limites máximos de

comprimento equivalente, que no experimento foi de 6,66 m, número dentro dos limites da recomendação do fabricante, que determina valores entre 2 e 25 metros.

### 3.2 Critérios para medição da vazão e capacidade

Visando apurar a real capacidade frigorífica do equipamento nos momentos do experimento, a serpentina do evaporador foi mergulhada em água, conforme ilustrado no componente 8 da Figura 6, para que, por meio de um fluxo contínuo, fosse possível determinar a capacidade térmica do sistema por meio da equação fundamental da calorimetria, elucidado na equação 1.

$$Q = \omega \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

Sendo,

Q a quantidade de calor que o sistema absorve ou libera, Kcal/h;

$\omega$  a vazão mássica da água, Kg/h;

c calor específico da água,  $\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \cdot ^\circ\text{C}$ ;

$\Delta T$  variação de temperatura,  $^\circ\text{C}$ .

A vazão mássica ( $\omega$ ) foi medida de duas maneiras, de modo que em metade do experimento, foi realizado por meio da medição da massa por unidade de tempo, lançando mão de um cronômetro, um béquer e uma balança de precisão, obtendo assim a vazão mássica conforme a equação 2.

$$\omega = \frac{m}{t} \quad (2)$$

De modo que,

$\omega$  vazão mássica da água, Kg/h ;

m a massa da água coletada, Kg ;

t tempo, h;

A outra metade dos experimentos tiveram a vazão medida por meio de um rotâmetro calibrado instalado na mangueira de alimentação de água do evaporador submerso, uma vez que a taxa de entrada e saída de água se mantiveram iguais, pois

não havia perda no decorrer da conexão. O instrumento utilizado é ilustrado na Figura 7.



Figura 7 – Rotâmetro que foi instalado na alimentação de água do evaporador submerso

O rotâmetro utilizado mensurava a vazão volumétrica em galões por minuto (GPM), de modo que sua transformação para vazão mássica (Kg/h), se deu pela equação 3, onde considerou-se 3,78541 como constante de conversão de GPM para L. A multiplicação da vazão volumétrica por 60 se deu necessária para transformação de GPM para GPH. Uma vez que  $1\text{m}^3$  é equivalente a 1000 L e adotando a densidade da água de  $1000\text{ Kg/m}^3$ , tem-se a equação 3.

$$\omega = (V. 60) . 3,78541 \quad (3)$$

De modo que,

$\omega$  vazão mássica do sistema, Kg/h;

V vazão volumétrica em GPM.

### 3.3 Medições na unidade condensadora

A temperatura de entrada do ar no condensador também foi aferida por meio de um termopar do tipo ferro constantan, componente 1 da Figura 6, visando medir em que condição de temperatura de admissão de ar a unidade condensadora estava trabalhando, para que os experimentos fossem feitos com a menor variação possível deste item, pois assim a condensadora poderia trabalhar em condição de isonomia nos diferentes cenários. A localização do termopar é a mesma utilizada pelo fabricante para controlar a temperatura de admissão do ar de condensação. Ilustra-se na Figura 8 como e onde o sensor foi alocado.

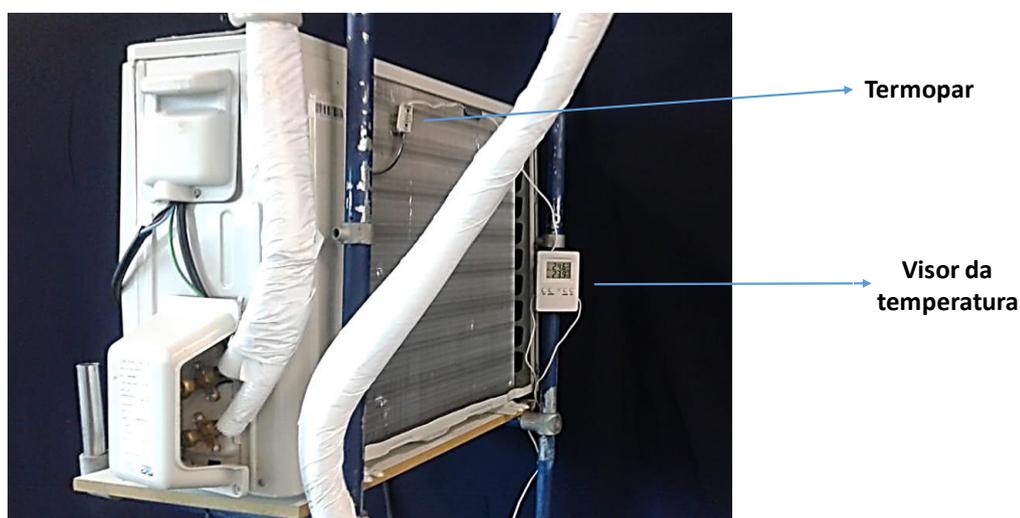


Figura 8 – Termômetro digital instalado na admissão de ar do condensador

Um alicate amperímetro, conforme ilustrado na Figura 9, foi utilizado para aferição da corrente do sistema nos diferentes experimentos, buscando identificar em qual arranjo de instalação o sistema consumia menos energia, sendo que para isso foi lançado mão da equação 4, oriunda da primeira lei de Ohm.

$$P = I \cdot U \quad (4)$$

Sendo,

- P a potência dissipada, W;
- I a intensidade da corrente elétrica, A;
- U tensão elétrica, V.



**Figura 9 – Alicate amperímetro para aferição da corrente do sistema**

Antes de cada medição em uma cota diferente, um alicate amperímetro também era utilizado para aferição do nível de tensão que estava disponível no momento do experimento, conforme a Figura 10, tendo em vista que tensão nominal do laboratório utilizado neste trabalho era de 220 V.



**Figura 10 – Alicate amperímetro para aferição da tensão de entrada no equipamento**

Buscando a isonomia das medições no que diz respeito ao sistema eletrônico do evaporador, foi programado a mesma configuração em todas as medições, onde foram considerados as seguintes parametrizações no controle remoto:

- a) Velocidade do ventilador: Velocidade máxima;

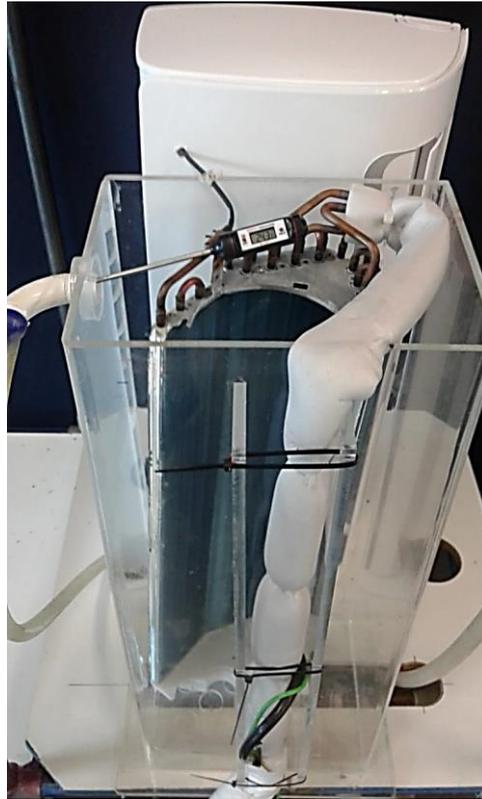
- b) Temperatura de *set-point*: 17°C;
- c) Função “*Super*” ativada para que o ventilador do evaporador mantivesse sua velocidade sempre no máximo, de forma travada, para não impactar no consumo do sistema.

### 3.4 Cálculo do $\Delta T$ da água no evaporador submerso

Visando a obtenção da diferença de temperatura da água na entrada e saída do recipiente onde o evaporador estava mergulhado, foram instalados dois termômetros digitais do tipo “espeto” calibrados na alimentação de água e na saída do tanque. Essa medição foi utilizada para determinação da variação da temperatura  $\Delta T$  (°C), elemento da equação (1). As Figuras 11 e 12 elucidam o tipo de termômetro utilizado, bem como a instalação do mesmo na saída do tanque, respectivamente.



Figura 11 – Termômetro digital do tipo espeto calibrado



**Figura 12 – Termômetro digital do tipo espeto conectado na saída do evaporador submerso**

### **3.5 Arranjo do equipamento em cada experimento**

A bancada era capaz de movimentar-se em três diferentes patamares verticais, tanto do lado da unidade de evaporação quanto do lado da condensação, deste modo, foram realizados nove diferentes experimentos, que estão ilustrados na Figura 13 entre os itens de “A” a “I”, ressaltando que as distâncias medidas levaram em consideração as distâncias entre as bases onde a evaporadora e a condensadora estavam instaladas.

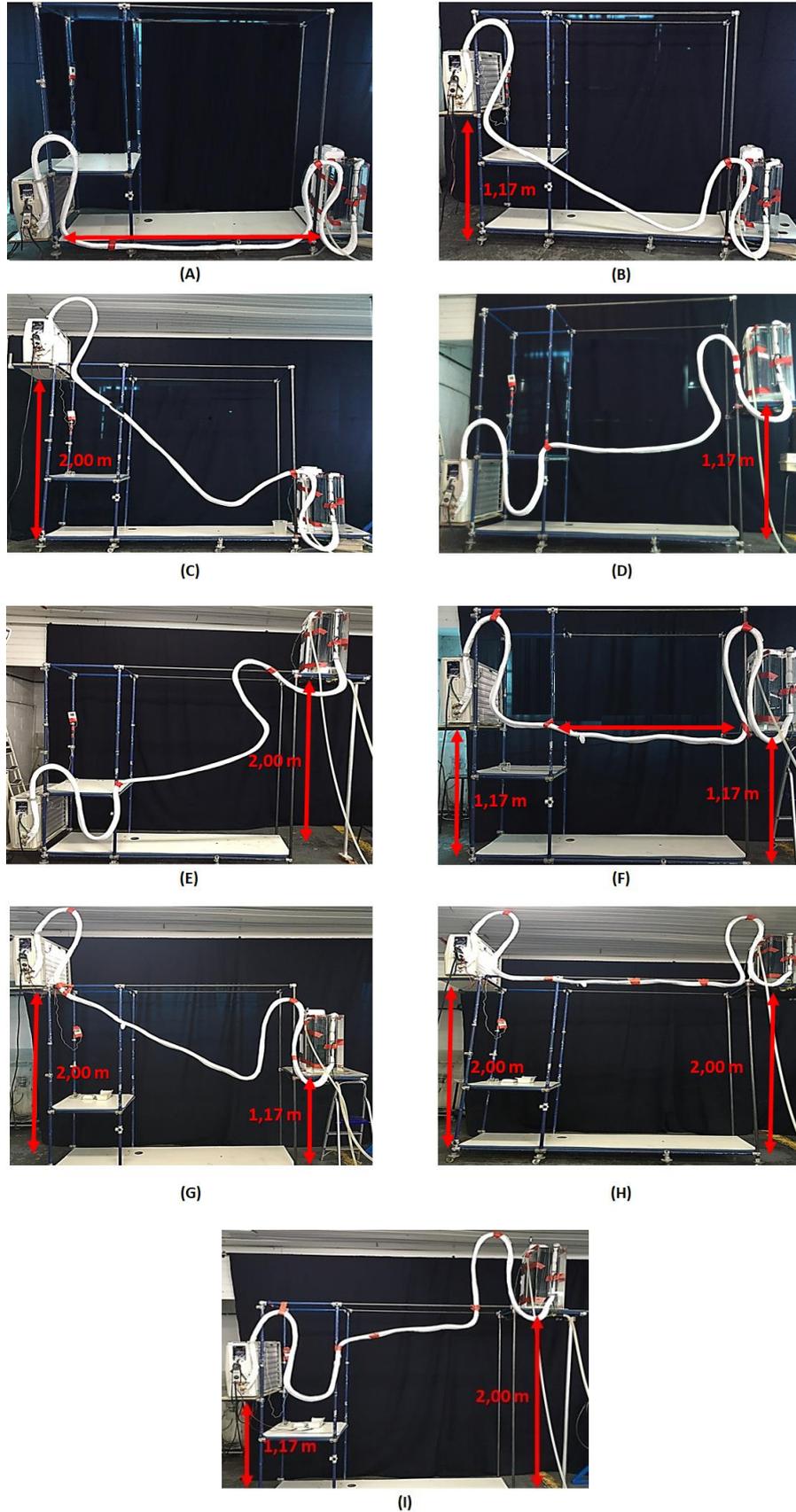


Figura 13 – Experimentos realizados na bancada em diferentes níveis verticais de instalação

Visando a paridade dos experimentos, procurou-se deixar os arranjos das curvas da tubulação de cobre dispostos da maneira mais semelhante possível, para que isso não afetasse o consumo do sistema.

### **3.6 Critérios de medição e dados levantados**

Antes de se iniciar os experimentos, foi constatado que o sistema dispndia ao menos 30 minutos para entrar em um regime próximo da estabilidade, ou seja, para que o inversor de frequência do compressor assumisse a menor variação possível, para que a temperatura de saída de água do tanque se mantivesse a mais constante possível e para que a temperatura de ar exterior se mantivesse estável. Frente a isso, adotou-se uma espera mínima de 30 minutos para cada experimento, objetivando uma maior isonomia nas medições

Após o tempo de espera de 30 minutos, era realizada a primeira medição, considerada como o tempo inicial ( $t = 0$ ), posteriormente eram efetivadas mais 30 aferições em intervalos de 1 minuto.

Visando maior confiabilidade ao trabalho e também maior assertividade nos resultados, foram realizadas 4 repetições (quadruplicada) de cada experimento, que estão ilustrados de forma gráfica no apêndice A, ou seja, para cada um dos 9 experimentos foram obtidos 4 documentos. Um exemplo de cálculo da carga térmica está apresentado no apêndice B

### **3.7 Categorização dos experimentos**

Visando uma melhor elucidação dos nove experimentos realizados, uma subdivisão em três categorias foi criada, sendo ela:

- a) Condensadora no mesmo nível da evaporadora;
- b) Condensadora abaixo da evaporadora;
- c) Condensadora acima da evaporadora.

Tem-se na Tabela 1 como foram organizados os experimentos dispostos na Figura 13, em relação às categorias em que se enquadram.

Tabela 1 – Categorização dos experimentos

<b>Categorias</b>	<b>Experimentos</b>
<b>Condensadora na mesma cota da evaporadora</b>	A   F   H
<b>Condensadora abaixo da evaporadora</b>	D   E   I
<b>Condensadora acima da evaporadora</b>	B   C   G

### 3.8 Níveis para o planejamento fatorial

Por meio do software Minitab®, foi construído o planejamento fatorial do experimento, onde consideraram-se as análises de dois fatores, sendo eles: Altura da evaporadora e altura da condensadora, divididas em nove ensaios base, conforme demonstrado na Figura 13, expandidos em quatro réplicas (quaduplicata), totalizando assim 36 ensaios.

Os fatores foram divididos em três níveis, conforme elucidada a tabela 2.

Tabela 2 – Atribuição dos níveis no planejamento fatorial

<b>Fator</b>	<b>Níveis</b>	<b>Valores</b>
Altura Evaporadora	3	A. B. C
Altura Condensadora	3	A. B. C

Os valores atribuídos aos diferentes níveis indicados na tabela 2, se referem aos desníveis verticais da evaporadora e condensadora, valores estes que são ilustrados na Figura 14.

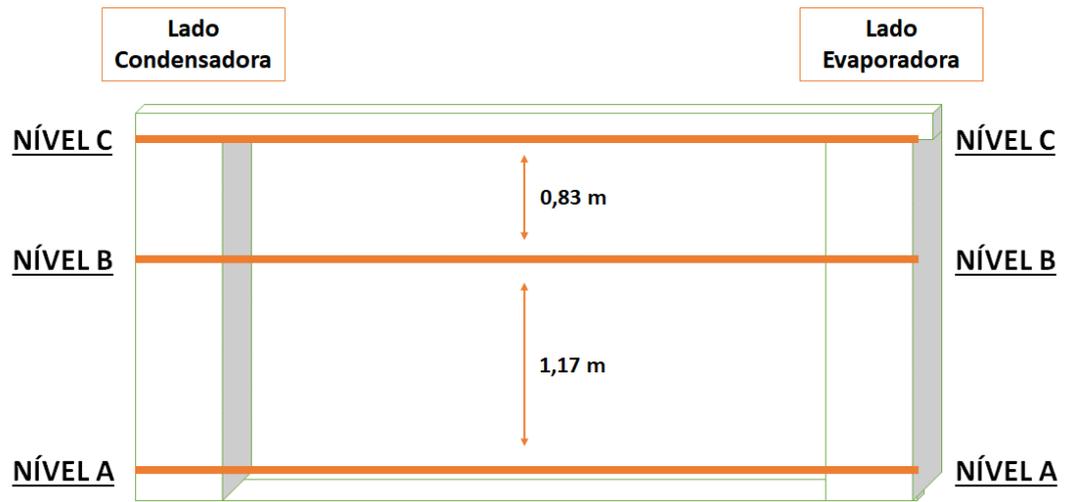


Figura 14 – Definição dos níveis do planejamento fatorial

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Resultados dos experimentos

Devido ao fato de o laboratório ser um ambiente climatizado, foi possível criar um certo controle na temperatura do ar de admissão do sistema, fator importante no que diz respeito ao consumo da condensadora. Deste modo, durante as medições, buscou-se controlar ao máximo os parâmetros de temperatura de entrada de ar no condensador, para que as interferências externas afetassem o mínimo possível nos resultados de consumo e capacidade, desta forma, pode-se observar na Tabela 3, as variações mínimas e máximas deste parâmetro.

**Tabela 3 – Valores mínimos e máximos adquiridos nos experimentos para: Temperatura de entrada de ar no condensador**

Experimento	Temperatura de entrada de ar no condensador - Mínima (°C)	Temperatura de entrada de ar no condensador - Máxima (°C)
A	22,5	23,7
B	22,5	23,4
C	22,7	24,6
D	22,6	23,6
E	22,4	23,3
F	22,6	23,4
G	23,9	24,6
H	23,0	24,5
I	22,6	23,6

Ainda se valendo dos dados na Tabela 3, nota-se que a temperatura de entrada do ar na condensadora variou de 22,4°C à 24,6°C, ou seja, 2,2°C de diferença entre o maior e menor valor obtido em todos as 1116 medições realizadas, considerando que o ambiente não era hermético, pode-se considerar uma baixa variação, se valendo principalmente pelo fato de ser possível controlar o acionamento ou desligamento do ar condicionado responsável pela climatização do laboratório.

Outro ponto relevante a ser considerado, foi a qualidade da energia em cada experimento, o que pode ser verificado na Tabela 4, que ilustra os valores mínimos e máximos da tensão de entrada medida na condensadora.

**Tabela 4 – Valores mínimos e máximos adquiridos nos experimentos para: Tensão de entrada no sistema**

Experimento	Tensão mínima (V)	Tensão máxima (V)
A	218	228
B	221	228
C	220	228
D	222	229
E	221	228
F	221	228
G	224	228
H	224	225
I	223	225

Os níveis de tensão variaram de 218V à 229V, o que demonstra uma qualidade insatisfatória da energia elétrica no local, porém este item não afetou os resultados de consumo, uma vez que a corrente no sistema se ajustava à essa variação de tensão, conforme ilustra a equação 4.

Frente aos fatores expostos nas Tabelas 3 e 4, pode-se afirmar que os dados que sofreram variações, não impactaram significativamente os experimentos no tocante ao consumo elétrico.

Após a realização das 1116 medições divididas em 9 experimentos com 31 medições em regime de quadruplicata, chegou-se ao resultado médio de consumo em W em cada repetição, conforme é ilustrado na Figura 15.

<b>EXPERIMENTO A</b>	<b>Média Consumo (W)</b>	<b>EXPERIMENTO D</b>	<b>Média Consumo (W)</b>	<b>EXPERIMENTO G</b>	<b>Média Consumo (W)</b>
Repetição 1	372,48	Repetição 1	368,52	Repetição 1	380,76
Repetição 2	374,61	Repetição 2	362,70	Repetição 2	380,12
Repetição 3	366,06	Repetição 3	362,81	Repetição 3	384,85
Repetição 4	368,99	Repetição 4	359,60	Repetição 4	380,25
<b>EXPERIMENTO B</b>	<b>Média Consumo (W)</b>	<b>EXPERIMENTO E</b>	<b>Média Consumo (W)</b>	<b>EXPERIMENTO H</b>	<b>Média Consumo (W)</b>
Repetição 1	376,26	Repetição 1	352,91	Repetição 1	375,24
Repetição 2	385,82	Repetição 2	356,01	Repetição 2	375,97
Repetição 3	379,97	Repetição 3	351,46	Repetição 3	374,37
Repetição 4	379,80	Repetição 4	357,52	Repetição 4	377,98
<b>EXPERIMENTO C</b>	<b>Média Consumo (W)</b>	<b>EXPERIMENTO F</b>	<b>Média Consumo (W)</b>	<b>EXPERIMENTO I</b>	<b>Média Consumo (W)</b>
Repetição 1	431,77	Repetição 1	380,15	Repetição 1	363,24
Repetição 2	427,65	Repetição 2	380,77	Repetição 2	365,23
Repetição 3	432,69	Repetição 3	374,43	Repetição 3	362,05
Repetição 4	426,29	Repetição 4	376,34	Repetição 4	366,13

**Figura 15 – Resultado médio dos 9 experimentos por repetição**

Com os resultados obtidos na Figura 15, foi possível colocá-los na classificação elucidada pela tabela 1, visando apresentar os resultados de maneira mais concisa. Ilustra-se na Figura 16 as médias dos consumos em cada experimento, além da média do por classificação, o que de fato permite observar em qual dos arranjos o consumo energético é menor.

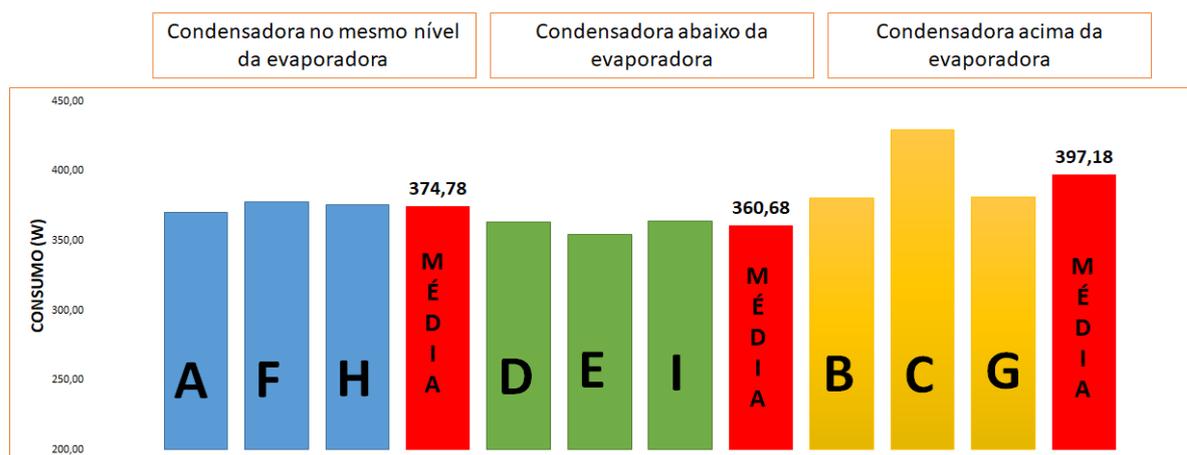


Figura 16 – Estratificação das medições de consumo por categorias

O melhor arranjo de instalação foi obtido, conforme a Figura 16, com a condensadora instalada abaixo da evaporadora (consumo médio de 360,68 W), de modo que o pior cenário se desenha quando a condensadora está acima do nível da evaporadora (consumo médio de 397,18 W), desta forma, a diferença do consumo elétrico do melhor para o pior arranjo, foi aproximadamente de 10%.

Ainda com o intuito de corroborar com os resultados, extraíram-se do Minitab® os efeitos principais para o resultado e a interação para o resultado, que permitem avaliar a interação dos diferentes níveis e seu respectivo impacto nos resultados. As figuras 17 e 18 ilustram estes *outputs* do software.

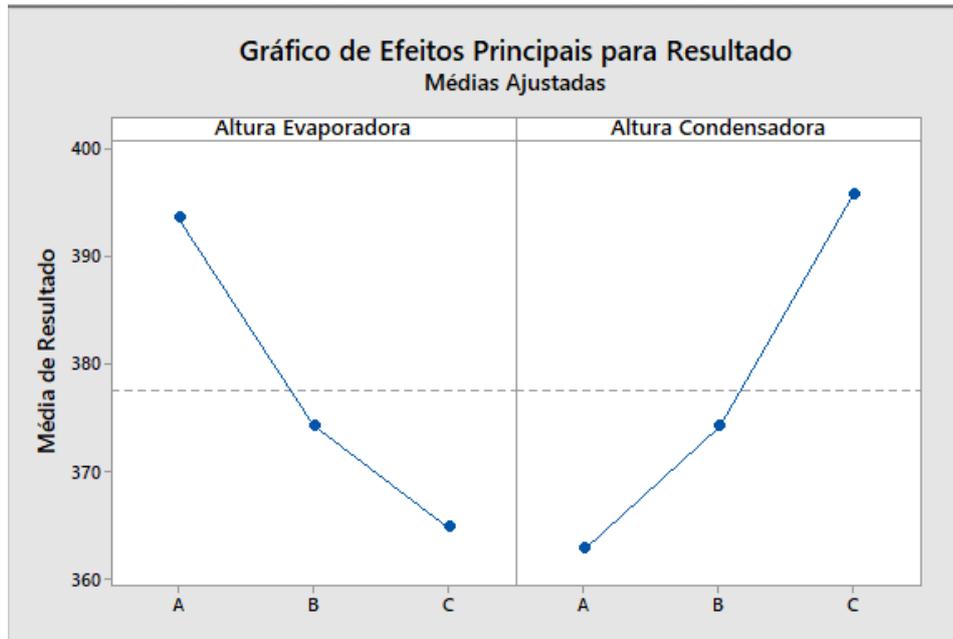


Figura 17 – Efeitos principais para resultado extraído do Minitab®

Na Figura 17, o eixo da ordenada se refere ao consumo obtido na interação entre os níveis, deste modo, pode-se concluir que o menor consumo se dá quando a evaporadora está na posição “C” e a condensadora na posição “A”, posições estas ilustradas na Figura 14. Este arranjo pode ser visualizado na Figura 13 “E” com a condensadora na cota inferior e a evaporadora na cota mais elevada.

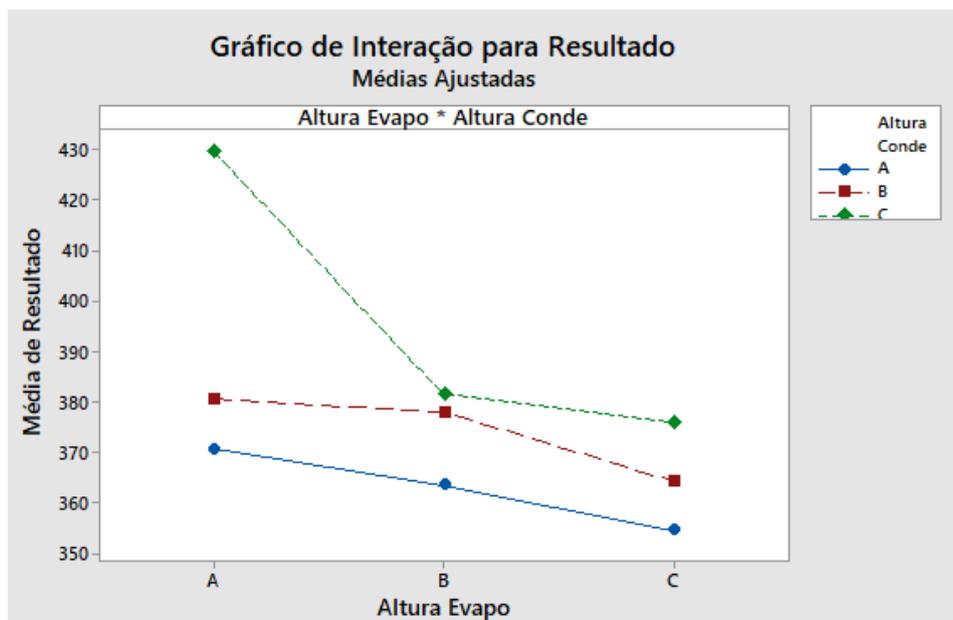


Figura 18 – Interação para resultado extraído do Minitab®

A Figura 18 evidencia que existe uma interação representativa entre os fatores

em diferentes níveis, pois não há existência de linhas paralelas no resultado da análise. Ainda é possível notar que quando se tem a evaporadora na posição “A” e a condensadora na posição “C”, o impacto no consumo é bastante significativo.

Se valendo da equação 1, foram calculados as capacidades de refrigeração média em cada experimento, que estão expostas na Figura 19.

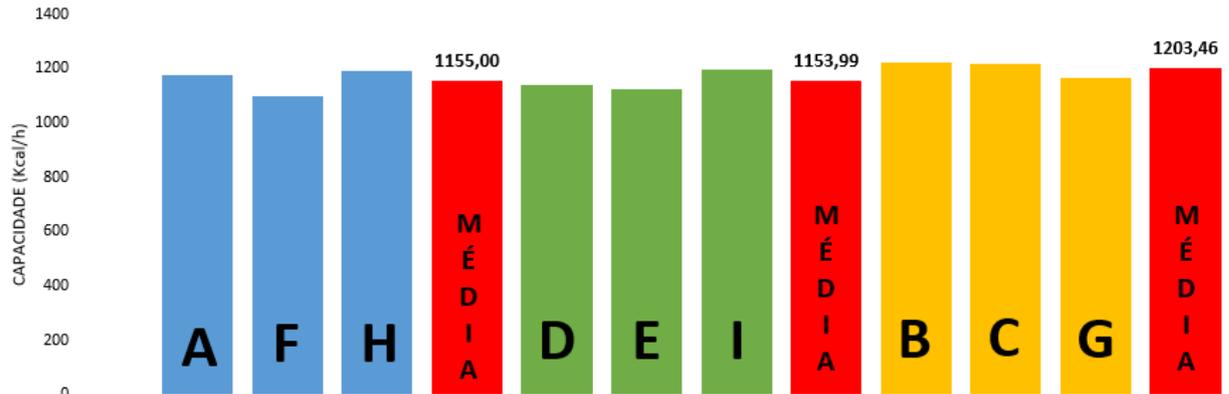


Figura 19 – Estratificação das medições de capacidade por categorias

Observa-se na Figura 19, que mesmo o equipamento tendo uma capacidade nominal de 9000 BTU/h (2268 Kcal/h), atingiu-se em média 1170,82 Kcal/h, isso ocorreu em função da formação de canais preferenciais de água que não percolaram o evaporador. Esse baixo fator de contato foi, portanto, oriundo do desvio "by pass" de porções de água que não entraram em contato com o evaporador. Os supracitados canais não afetaram os resultados da influência do desnível entre o evaporador e o condensador, uma vez que os pontos de entrada e saída da água não foram alterados durante os ensaios.

## 5 CONCLUSÕES

O trabalho permitiu as seguintes conclusões:

- a) Os desníveis entre condensadora e evaporadora devem ser levados em consideração na instalação de um ar condicionado modelo split residencial, principalmente pelo fato de que essa diferença entre cotas de instalação, estar fundamentalmente atrelada ao consumo energético do sistema.
- b) O melhor arranjo do ponto de vista do consumo elétrico, se concretizou quando a condensadora foi instalada abaixo da evaporadora, em média 10% a menos em relação a condição inversa, para as condições estudadas, respeitando obviamente a distância equivalente máxima imposta pelo fabricante do aparelho de ar condicionado, se valendo dos experimentos realizados na bancada descrita neste trabalho.
- c) Os catálogos técnicos dos fabricantes deste tipo de condicionadores de ar, devem levar em consideração uma recomendação no sentido de advertir em qual arranjo vertical de instalação incorre um menor consumo.
- d) Diante do considerável aumento na demanda por ar condicionado no Brasil nos anos 2000, o fato de se poder reduzir o consumo energético destes equipamentos, se torna bastante relevante. Como exemplo, se um aparelho de 9000 BTU/h ficar ligado 8h por dia, 30 dias por mês, nas condições de capacidade média levantadas neste trabalho, irá consumir R\$ 61,96, considerando a pior condição de instalação e um custo de R\$ 0,65 por KW. No caso de 6 milhões de TR, número de aparelhos residenciais comercializados no Brasil em 2014 (Item 1.3), a redução de 10% no consumo entre melhor e a pior condição, pode representar uma economia superior a R\$ 45.000.000,00.

### 5.1 Trabalhos futuros

Como proposta para trabalhos futuros, recomenda-se:

- a) Estudar o impacto das variações horizontais entre evaporadora e condensadora, visando identificar o impacto que isso causa no consumo de equipamentos de ar condicionado residencial do tipo Split.
- b) Mensurar o nível de ruído para os experimentos realizados neste trabalho.
- c) Quantificar a economia de energia gerada em uma residência considerando os diferentes arranjos de instalação, que foram levados em consideração neste trabalho.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRADERCO (São Paulo). Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos (Ed.). **Eletrodoméstico e eletroeletrônico**. São Paulo: Banco Bradesco IBGE, 2017. 76 p. Relatório econômico. Disponível em: <[https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset\\_eletrodomesticos\\_e\\_eletronicos.pdf](https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_eletrodomesticos_e_eletronicos.pdf)>. Acesso em: 30 jan. 2018.

BRASIL. Ministério de minas e energia. Empresa de pesquisa energética – EPE. **Balço energético nacional 2017: ano base: 2016: sumário executivo / ministério de minas e energia**. Empresa de pesquisa energética. Rio de Janeiro. EPE, 2017.

BUTTON, Sérgio Tonini. **Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados**: PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2016. 88 p. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/pos-graduacao/IM317/apostila.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2019.

CUNICO, Marlon Wesley Machado et al. **Factorial design: a valuable statistic tool to define experimental parameters applied in scientific research**. Visão Acadêmica, Curitiba, v. 9, n. 1, p.23-32, jul. 2008. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/academica/article/view/14635/9823>>. Acesso em: 29 jan. 2019.

CUTRIM, Yuri Alisson Barreto. **Avaliação do desempenho de um sistema de refrigeração devido a substituição do fluido refrigerante**. 2018. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

FERNANDES, Fátima Maria Gomes. **Análise e caracterização do ruído de equipamentos AVAC em edifícios públicos**. 2010. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2010.

FORATO, Denilson. Evolução do mercado de ar condicionado no Brasil. In: Encontro Tecnológico, 1., 2016, Belo Horizonte. **Economia e estatística do setor AVAC-R...** Belo Horizonte: ABRAVA, 2016. p. 1-26.

GENIÉR, Francielli Silva; COSTA, Andréa Oliveira Souza da; COSTA JUNIOR, Esly Ferreira da. **Ciclos de refrigeração: conceitos e estudos de eficiência**. Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 9, n. 16, p.2878-2893, 01 jul. 2013.

GOMAA, Abdalla. Performance Characteristics of Automotive Air Conditioning System with Refrigerant R134a and Its Alternatives. International Journal Of Energy And Power Engineering, Nova Iorque, v. 4, n. 3, p.168-177, jun. 2015. Disponível em: <<http://article.sciencepublishinggroup.com/html/10.11648/j.ijepe.20150403.15.html>>. Acesso em: 27 dez. 2018.

MASCARENHAS, Henrique Ribeiro. **O setor de eletrodomésticos de linha branca: Um diagnóstico e a relação varejo-indústria**. 2005. 238 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Finanças e Economia Empresarial, Escola de Economia de São Paulo, FGV/EESP, São Paulo, 2005. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/2059/henriquemascarenhasturma2003.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2018.

MESQUITA, Nuno. Redução do consumo energético de um equipamento de frio. Porto - Portugal: Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia, 2009. 17 p.

REZENDE, Paulo Henrique Oliveira. **Uma proposta de modelagem de condicionadores de ar split visando a análise de pedidos de ressarcimento por danos elétricos**. 2012. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

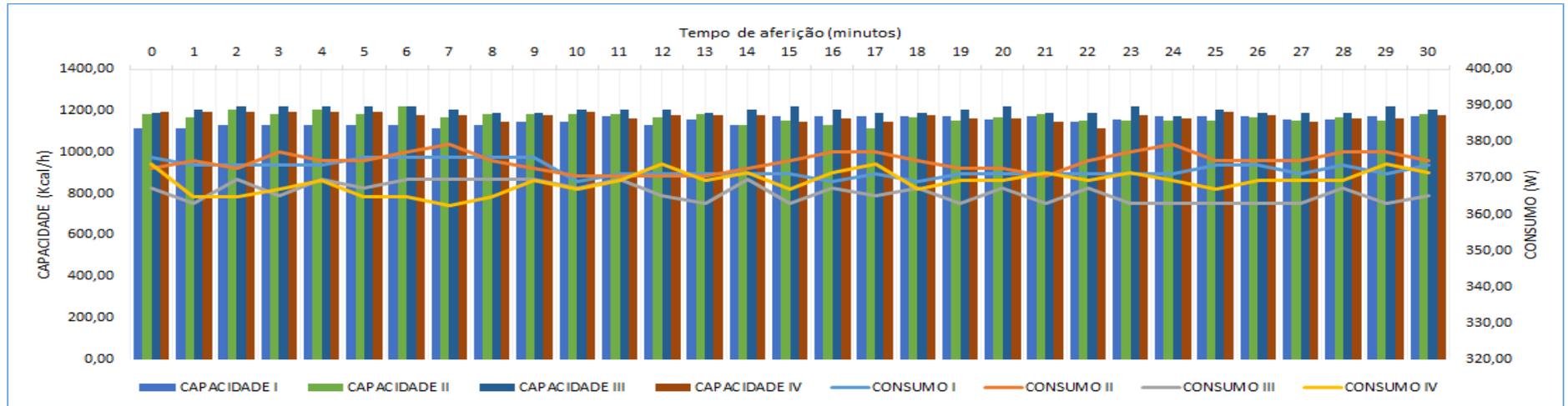
SANTOS, Anderson Pinho dos. **Estudo e avaliação de performance em sistemas de ar condicionado: um comparativo entre sistemas split system e sistema vrv (vazão de refrigerante variáveis)**. 2017. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Processos, PPGEP/ITEC, Universidade Federal do Pará, Belem, 2017.

SANTOS, Eliane Jorge dos. **Caracterização de ruído de sistema de ar condicionado unitário tipo “Mini-Split” em residências unifamiliares**. 2017. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento e Tecnologia, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2017.

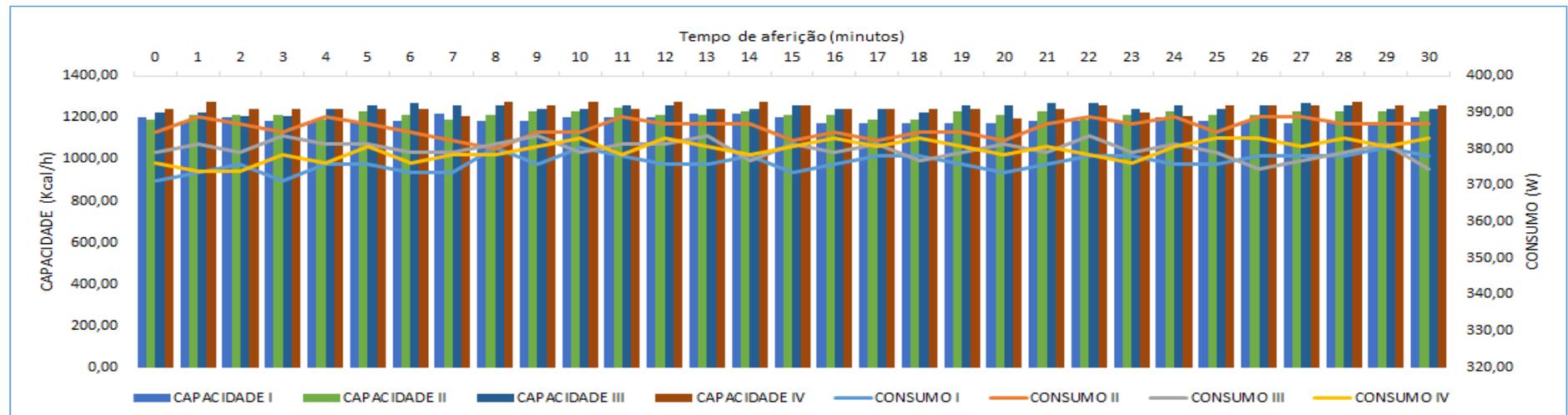
WATANABE, Edson. **Por um consumo consciente de energia elétrica**. Rio Pesquisa, Rio de Janeiro, v. 9, n. 37, p.47-49, dez. 2016. Disponível em: <[http://www.faperj.br/downloads/revista/rio\\_pesquisa\\_37\\_2016.pdf](http://www.faperj.br/downloads/revista/rio_pesquisa_37_2016.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2018.

## APÊNDICE A – Resultados das medições

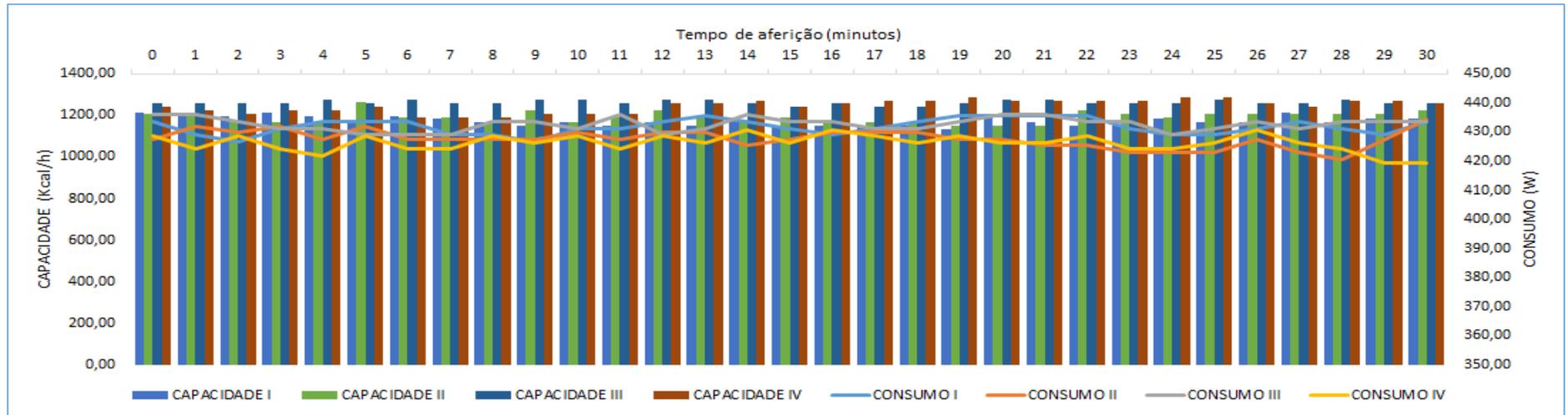
### Experimento A:



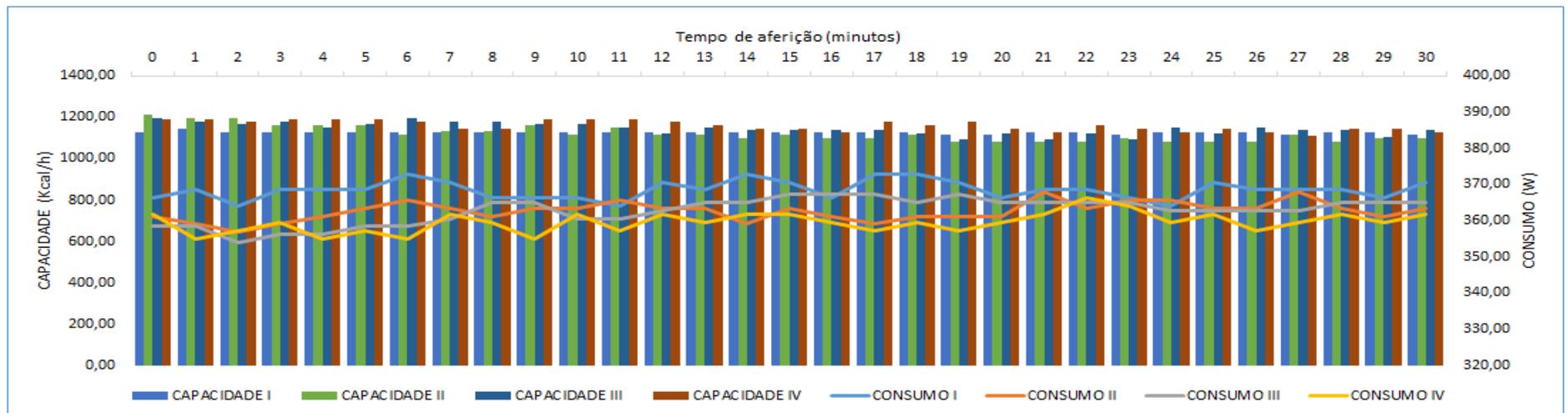
### Experimento B:



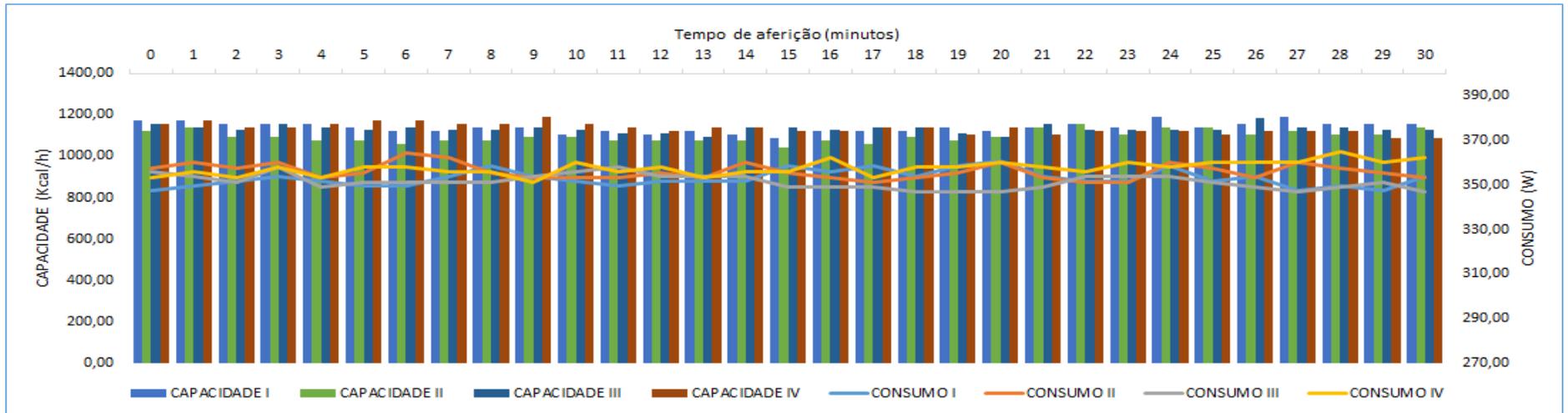
### Experimento C:



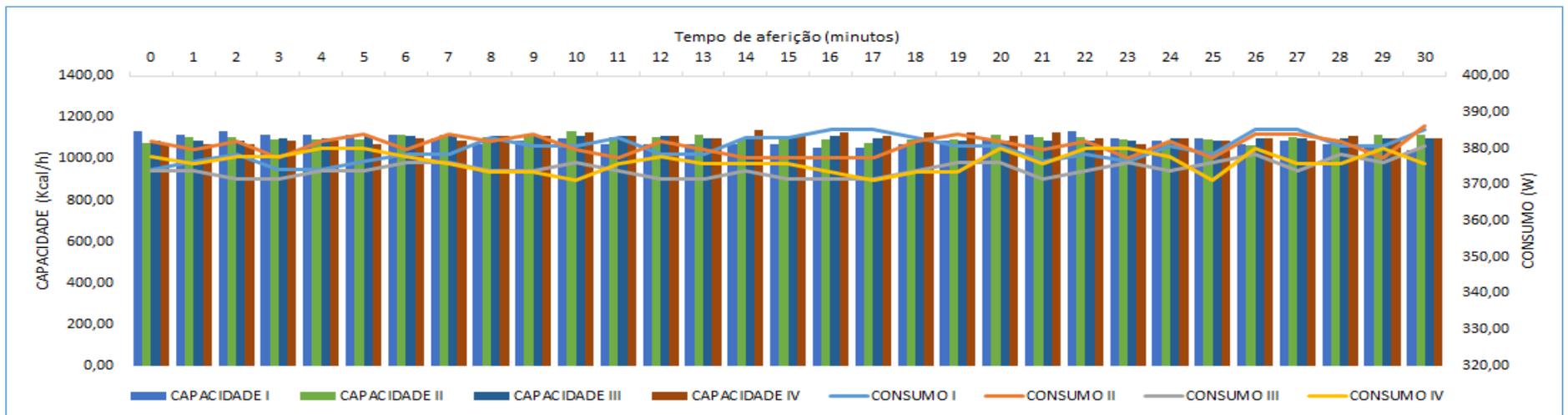
### Experimento D:



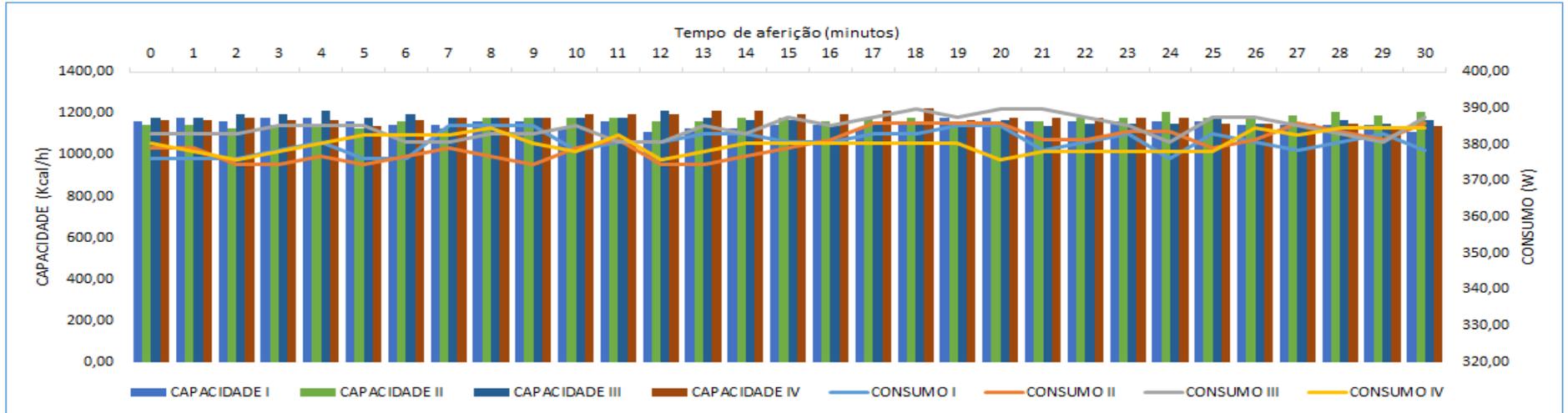
**Experimento E:**



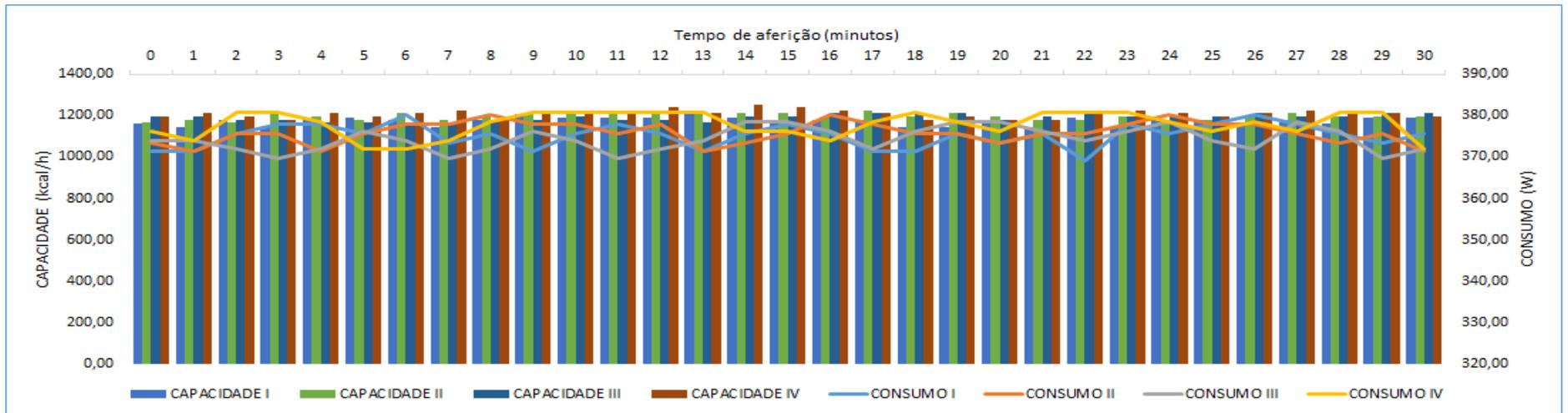
**Experimento F:**



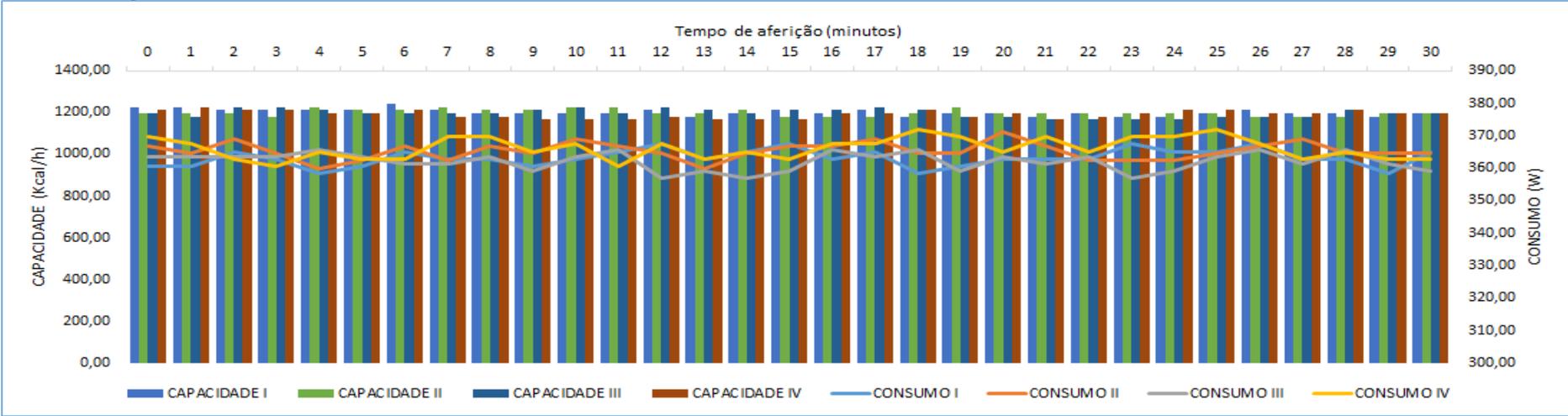
**Experimento G:**



**Experimento H:**



### Experimento I:



**APÊNDICE B – Exemplo de cálculo da carga térmica**

$$Q = \omega \cdot cp \cdot (T_1 - T_2) \quad (5)$$

$$\omega = V \cdot p \quad (6)$$

Sendo,

Q o calor, Kcal/h;

$\omega$  a vazão mássica, Kg/h;

cp o calor específico, Kcal/(Kg.°C);

T1 a temperatura de saída, °C;

T2 a temperatura de entrada, °C;

V a vazão volumétrica, m<sup>3</sup>/h;

p a densidade, massa específica, Kg/m<sup>3</sup>

**EXEMPLO**

$$V = 0,65 \text{ GPM} = 0,65 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \cdot 3,78541 \frac{\text{L}}{\text{gal}} \cong 2,461 \frac{\text{L}}{\text{min}} \quad (6)$$

$$Q = 2,461 \frac{\text{L}}{\text{min}} \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right) \left( \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) = 0,1477 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (7)$$

$$\omega = Q \cdot p = 0,1477 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 147,7 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \quad (8)$$

$$Q = \omega \cdot cp \cdot (T_1 - T_2) = 147,7 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (23,8 - 15,7)^\circ\text{C} = 1196,3 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \quad (9)$$

$$Q = 1196,3 \left( \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right) \left( \frac{1 \text{ BTU}}{0,252 \text{ Kcal}} \right) = 4747,5 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \quad (10)$$

Obs<sup>1</sup>: Uma quilocaloria (Kcal) é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de um quilograma de água de 14,5°C para 15,5°C.

Obs<sup>2</sup>: Um BTU/h é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de uma libra-massa (1lb  $\cong$  0,454 Kg) de água de 63°F para 64°F.