



**Ocleibe Adriano Quantz**

**PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DA UMIDADE CONDENSADA PELO  
AR-CONDICIONADO NO ARREFECIMENTO DO PRÓPRIO SISTEMA**

Horizontina - RS

**2018**

**Ocleibe Adriano Quantz**

**PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DA UMIDADE CONDENSADA PELO  
AR-CONDICIONADO NO ARREFECIMENTO DO PRÓPRIO SISTEMA**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Me. Marcelo André Losekann.

**Horizontina - RS**

2018

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso:**

**PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DA UMIDADE CONDENSADA PELO AR-  
CONDICIONADO NO ARREFECIMENTO DO PRÓPRIO SISTEMA**

**Elaborada por:**

**Ocleibe Adriano Quantz**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

Aprovado em: 29/11/2018

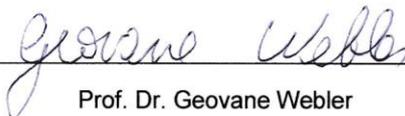
Pela Comissão Examinadora



---

Prof. Me. Marcelo André Losekann

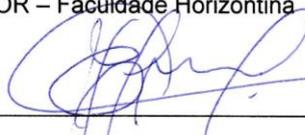
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador



---

Prof. Dr. Geovane Webler

FAHOR – Faculdade Horizontina



---

Prof. Me. Eloir Fernandes

FAHOR – Faculdade Horizontina

**Horizontina - RS**

**2018**

## AGRADECIMENTO

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação. Professores, família e em especial a minha esposa que sempre está do meu lado, o meu muito obrigado.

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de utilização da água que é expelida por condicionadores de ar, oriunda da condensação da umidade. Tendo como objetivo geral analisar a possibilidade de se utilizar esta água no auxílio do arrefecimento da condensadora e, de forma mais específica, obter redução do gradiente térmico entre a tomada de ar e seu insuflamento, diminuir a temperatura do fluido refrigerante na saída da serpentina e reduzir a corrente elétrica de consumo do equipamento. Para a realização destas atividades foi adquirido um condicionador de ar do tipo *mini-split* e instalando-o em uma bancada, com instrumentos de medição dispostos em pontos específicos para a coleta dos dados. A coleta de dados foi realizada manualmente e organizada em uma planilha. Operando o ar-condicionado em diversas oportunidades, foi relacionado o funcionamento em modo padrão, que é da forma o qual é projetado para funcionar, funcionamento com adição da água que provia instantaneamente da condensação e também, o funcionamento a partir da adição de água em maior quantidade, na qual a umidade condensada era acumulada e, posteriormente, despejada sob a serpentina da condensadora. Na análise dos dados utilizou-se de métodos matemáticos e estatísticos, revelando uma diminuição significativa no gradiente térmico de 54 %, diminuindo a temperatura do fluido refrigerante em 5 % e reduzindo o consumo da corrente elétrica em 10,1 %, representando, conseqüentemente, uma economia de energia elétrica de 77 Watts. Os resultados indicam uma melhora significativa na performance, possibilitando a realização de trabalhos futuros de sistemas de captação reutilizando a água condensada e conseqüentemente economizando energia.

**Palavras-chave:** Ar-condicionado. Reuso da umidade condensada. Reutilização da água.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Ciclo de refrigeração.....   | 16 |
| Figura 2: Relação entre as áreas de refrigeração e de ar condicionado.....   | 17 |
| Figura 3: Funcionamento do condicionador de ar no ciclo de refrigeração. ... | 18 |
| Figura 4: Gráfico da vazão de água x umidade relativa do ar.....             | 21 |
| Figura 5: Gráfico da vazão de água x potência. ....                          | 22 |
| Figura 6: Modelos de ar-condicionado mini-split hi-wall.....                 | 26 |
| Figura 7: Esquema de instalação e identificação dos componentes. ....        | 27 |
| Figura 8: Instalação do ar-condicionado com instrumentos de medição. ....    | 29 |
| Figura 9: Instalação dos sensores de temperatura na serpentina. ....         | 30 |
| Figura 10: Distribuição da água por meio de calha.....                       | 31 |
| Figura 11: Distribuição da água por meio de tubo aspensor. ....              | 32 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1: Valores típicos para coeficiente de convecção. .... | 19 |
| Quadro 2: Tabela de pressão x temperatura R-410A .....        | 28 |
| Quadro 3: Temperatura ambiente.....                           | 34 |
| Quadro 4: Temperatura no insuflamento do exaustor .....       | 35 |
| Quadro 5: Temperatura na saída da serpentina .....            | 35 |
| Quadro 6: Consumo de corrente elétrica.....                   | 36 |

# SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....                               | 10 |
| 1.1 TEMA .....  | 11 |
| 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....                            | 11 |
| 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA .....                          | 11 |
| 1.4 HIPÓTESES.....                                      | 12 |
| 1.5 JUSTIFICATIVA .....                                 | 12 |
| 1.6 OBJETIVOS .....                                     | 13 |
| 1.6.1 Objetivo Geral.....                               | 13 |
| 1.6.2 Objetivos Específicos .....                       | 13 |
| <b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....                    | 14 |
| 2.1 LEGISLAÇÃO VIGENTE.....                             | 14 |
| 2.2 REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO .....                | 15 |
| 2.2.1 Refrigeração Industrial.....                      | 17 |
| 2.2.2 Ar Condicionado .....                             | 18 |
| 2.2.2.1 Componentes Básicos do Ar-Condicionado .....    | 18 |
| 2.3 UMIDADE RELATIVA DO AR .....                        | 20 |
| 2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS .....                  | 22 |
| <b>3 METODOLOGIA</b> .....                              | 24 |
| 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....                  | 24 |
| 3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....                       | 24 |
| <b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....    | 26 |
| 4.1 SELEÇÃO DO EQUIPAMENTO.....                         | 26 |
| 4.2 INSTALAÇÃO DO AR-CONDICIONADO E FUNCIONAMENTO ..... | 26 |
| 4.2.1 Método de Instalação .....                        | 26 |
| 4.2.2 Parâmetro de Funcionamento .....                  | 27 |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.2.3 Instalação dos Instrumentos de Medição .....                          | 29        |
| 4.3 SISTEMA PARA A DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA .....                               | 31        |
| 4.4 COLETA E REGISTRO DOS DADOS .....                                       | 32        |
| 4.5 ANÁLISE DOS DADOS.....  | 33        |
| 4.5.1 Temperatura Ambiente .....  | 33        |
| 4.5.2 Gradiente de Temperatura Entre a Tomada de Ar e Seu Insuflamento..... | 34        |
| 4.5.3 Temperatura na Saída da Serpentina.....                               | 35        |
| 4.5.4 Consumo de Corrente Elétrica.....                                     | 36        |
| <b>CONCLUSÃO .....</b>  | <b>37</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, têm se pautado com maior frequência a escassez de recursos vitais para a vida do planeta. Assuntos relacionados ao uso consciente de água e energia elétrica, bem como, o desperdício de materiais na construção civil e na manufatura de máquinas e equipamentos, são fatores de maior envolvimento de engenheiros, que se dedicam e trabalham para solucionar problemas recorrentes e assim, tornar as instalações mais eficientes.

É regular deparar-se por gotejamentos nas calçadas das cidades, que geralmente são causados pela água que é dispersa por aparelhos de ar-condicionado. Paralelamente ao incômodo causado pelo gotejamento, a grande quantidade de água que é desperdiçada, ainda compromete as fachadas das edificações, causando degradação e limo nas calçadas o que as torna impróprias para os pedestres.

Este problema é frequente em edificações mais antigas, onde as instalações de equipamentos de climatização não foram previstas. No caso de projetos de edificações mais recentes, em alguns casos, já está disposta a instalação da tubulação para drenar a água gerada pelos aparelhos de ar-condicionado, em outros projetos mais desenvolvidos, previu-se ainda a possibilidade de reutilizar a água para irrigação de jardins, uso em lavanderias, limpeza de calçadas, etc.

Em meio a esta conjuntura da necessidade de climatizar ambientes e seguir um conceito de eficiência energética, com instalações visando à sustentabilidade, mesmo em situações adversas, o presente trabalho abordará o desperdício de água que é recorrente na grande maioria de instalações de sistemas de ar-condicionado, analisando com soluções existentes e aprofundando o estudo para a utilização desta água no próprio sistema de arrefecimento.

Será analisada a possibilidade de utilizar um sistema em forma de calha que irá receber a água provinda da evaporadora (unidade interna) e distribuirá essa água uniformemente pela serpentina da condensadora (unidade externa), especificamente em modelos de ar-condicionado *mini-split* e, desta forma, presume-se, um melhoramento no arrefecimento e conseqüentemente na performance.

## 1.1 TEMA

Considerando a importância dos equipamentos de refrigeração destinados para o conforto, cujas vendas têm sido em larga escala a nível mundial nos últimos anos, associa-se a esses fatos o consumo de energia e a geração de calor por conta do funcionamento. Porém, muitas vezes passam despercebidas outras peculiaridades no funcionamento dos condicionadores de ar, como por exemplo, o fato que no processo de refrigeração condensa-se uma enorme quantidade de umidade que está dispersa no ar ambiente.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O desenvolvimento deste trabalho seguirá uma linha de pesquisa em condicionadores de ar, com foco nas possíveis alterações que a utilização da água provinda da condensação da umidade do ar na evaporadora, provocará quando aplicada na serpentina da condensadora e dessa forma auxiliando no arrefecimento do próprio sistema de refrigeração. Serão apresentadas informações relevantes, dados quantitativos coletados em uma bancada de teste e esses dados serão confrontados e analisados através de métodos matemáticos e estatísticos.

## 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

O condicionador de ar, em seu ciclo de refrigeração, gera uma quantidade considerável de água, que é provinda da condensação das partículas de água contidas no ar atmosférico ambiente, ou seja, a umidade relativa do ar. Essa água, na grande maioria das instalações é aproveitada de forma ineficiente ou simplesmente desperdiçada.

Com a necessidade de obter conforto térmico nos ambientes, encontra-se cada vez mais, equipamentos condicionadores de ar instalados nas fachadas dos prédios. Fato que compromete o funcionamento, influencia esteticamente e ainda gera um problema gravíssimo: A água condensada que não é captada pelo dreno ou instalação destinada a essa função, escoada pelas fachadas, causa infiltrações, mofo, decomposição precoce das edificações (principalmente acabamento) e ainda

ocasiona um transtorno para quem circula pelo passeio e é surpreendido pelo gotejamento, tornando o passeio escorregadio e propício a causar acidentes.

Em algumas instalações, normalmente em prédios novos, existe uma instalação hidráulica específica para a coleta da água condensada, e assim, evitando o gotejamento. Porém poucos projetos preveem um sistema de reaproveitamento, um sistema hidráulico que permita a coleta, depósito e posterior reutilização dessa água.

A proposta deste trabalho é elaborar um estudo profundo, embasado em conceitos da termodinâmica, da transferência de calor e da mecânica dos fluidos. Confrontar os dados coletados em uma bancada de testes, e assim propiciar resultados coerentes e fidedignos, a fins de contemplar a interrogativa: É possível e qual a influência do uso da água condensada no auxílio do arrefecimento do sistema de refrigeração de um ar-condicionado?

#### 1.4 HIPÓTESES

A partir da análise do funcionamento do sistema de um condicionador de ar e com o estudo das teorias, pressupõe-se que:

- a) Com o auxílio da água adicionada ao sistema de arrefecimento, tem-se uma melhora, ou seja, acelera-se a diminuição da temperatura do fluido refrigerante.
- b) Se melhorar o arrefecimento, será possível diminuir a energia empregada no arrefecimento do equipamento.
- c) Se a água passar pela serpentina e realizar a convecção, ela ainda poderá ser reutilizada posteriormente em outros fins.

#### 1.5 JUSTIFICATIVA

Diante do cenário de crise em vários setores, a escassez de chuvas piora ainda mais a situação. Ela compromete a produção agrícola, a geração de energia e ainda priva as pessoas de poder usufruir com a disponibilidade de água, como em alguns casos, não havendo ao menos para as necessidades básicas.

Com base nestes fatores, é inaceitável que haja o desperdício da grande quantidade de água que é jorrada fora, nos casos do ar-condicionado, muitas vezes prejudicando estruturas e atrapalhando a vida dos pedestres.

Instigado pela problemática do gotejamento de água do ar-condicionado que é recorrente na maioria das edificações, pela busca de soluções para estar em conformidade com as leis e normas vigentes, paralelamente a isto, busca-se solucionar este problema que é deparado nas rotinas de trabalho diárias, que ao longo de seis anos de atividade, descontente com o desperdício de água, tem-se a oportunidade, apoiado pela qualificação que traz o curso de graduação em Engenharia Mecânica, em realizar um estudo relevante e que beneficiará a sociedade, uma vez que analisadas as hipóteses, com a utilização deste sistema a água será reutilizada e resultará em ganhos na economia de energia elétrica.

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral identificar a possibilidade de utilizar a água condensada de um ar-condicionado modelo *mini-split* no auxílio do arrefecimento da unidade condensadora, que tradicionalmente é realizada unicamente por fluxo de ar forçado.

### 1.6.2 Objetivos Específicos

- Diminuir o gradiente de temperatura entre a tomada de ar e seu insuflamento da condensadora em 10 %.
- Reduzir a temperatura do fluido refrigerante na saída da serpentina em 10 %.
- Reduzir o consumo de corrente elétrica do equipamento em 5 %.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 LEGISLAÇÃO VIGENTE

A recente aprovação da Lei 13.589/18, que dispõe sobre a manutenção de instalações e equipamentos de sistema de climatização de ambientes, trouxe além dos benefícios desta lei, em contrapartida, um debate na sociedade sobre a importância de seu conteúdo e que já era esperado por vários anos pela população e principalmente por técnicos e pessoas ligadas ao setor de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado - HVAC.

Ressalta-se que os padrões, valores, parâmetros, normas e procedimentos necessários à garantia da boa qualidade do ar interior, inclusive de temperatura, umidade, velocidade, taxa de renovação e grau de pureza, são os regulamentados pela Resolução nº 9, de 16 de Janeiro de 2003, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária- ANVISA, e posteriores alterações, assim como as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (BRASIL, 2018).

Além das normatizações federais, como ABNT e ANVISA, os municípios podem criar suas próprias leis a fim de contemplar as nuances das normas existentes para a solução ou minimização de problemas mais pontuais e locais. O exemplo disso é as cidades de Porto Alegre - RS e Rio de Janeiro – RJ.

Conforme a Câmara Municipal do Rio de Janeiro (1999) foi criada a Lei nº 2749, decretando que os aparelhos de ar-condicionado projetados para o exterior das edificações deverão dispor de acessório, em forma de calha coletora, para captar a água produzida e impedir o gotejamento na via pública. Ressaltando na continuidade da Lei, que o seu descumprimento sujeitará o infrator a uma multa e que se a irregularidade não for sanada no prazo de trinta dias após a primeira multa, será aplicada outra multa.

Ainda para explicitar este tema devido sua grande importância, Filho (2015), ressalta em seu projeto de lei a obrigatoriedade da coleta, escoamento e o aproveitamento da água proveniente do processo de condensação de aparelhos de ar condicionado, projetados para o exterior das edificações, em prédios e edificações públicas, particulares, filantrópicas e comerciais.

Além dos problemas causados diretamente pelo escoamento d'água pelas paredes e calçadas, sua retenção ou acúmulo pode prosperar a proliferação de mosquitos como o *aedes aegypti*, transmissor da febre amarela e dengue, bem

como outras bactérias e fungos causadores de doenças e mau cheiro. A NBR 16401 (2008) esclarece que para a água de condensação, as tubulações em circuitos abertos contendo água devem ser projetadas de modo a garantir que não ficarão com água parada em seu interior por um período superior a sete dias consecutivos, para reduzir o risco de proliferação de microrganismos.

Para Filho (2015), milhões de condicionadores de ar que são utilizados em conjunto retiram bilhões de litros de água da atmosfera, que, uma vez aproveitados, podem ajudar a conservar este importante recurso, e assim, contribuir na luta contra o aquecimento global.

O número de vendas e instalações de condicionadores de ar vem aumentando nos últimos anos, conforme dados da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento - ABRAVA, os equipamentos do modelo *mini-splits* estão instalados em 72 % das residências e empreendimentos que contam com ar condicionado no Brasil, embora isso representa 13 % dos cerca de 63 milhões de domicílios do país (ABRAVA, 2018).

Filho (2015) destaca que outro problema ocasionado pelo gotejamento do ar condicionado é a danificação das estruturas dos prédios, infiltração e formação de limo, ocasionando acidentes com os pedestres e que a tendência atual é um agravamento desses problemas, uma vez que o Brasil tem o terceiro maior mercado de condicionadores de ar e refrigeração do mundo.

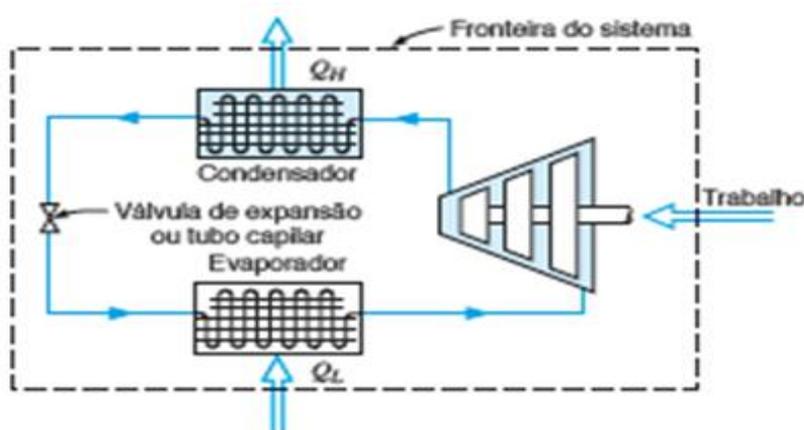
## 2.2 REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO

O ciclo de refrigeração originou-se pela impossibilidade da transferência de calor diretamente de um corpo a baixa temperatura para um corpo a alta temperatura e isso pode ser evidentemente alcançado com um refrigerador ou um condicionador de ar (BORGNAKKE e SONNTAG, 2013).

Para Miller e Miller (2008), a refrigeração é o processo de remoção de calor de onde ele não é desejado, na maioria dos casos, o calor é removido dos alimentos para preservar suas qualidades e seu sabor, do ar ambiente ele é removido para estabelecer conforto a seus ocupantes. O ar condicionado está presente em nossos lares, em nosso local de trabalho e até mesmo em nossos automóveis. Já refrigeração é amplamente utilizada em indústrias, da fabricação de café instantâneo às mais modernas técnicas cirúrgicas em hospitais.

No ciclo de refrigeração por compressão de vapor, que pode ser encontrado no cotidiano na forma de refrigeradores, ar-condicionado, entre outros, está representado na Figura 1, onde o fluido de trabalho é um refrigerante, tal como o R-134A ou R-410A, que percorre um ciclo termodinâmico. Transfere-se calor para o refrigerante no evaporador, onde a pressão e a temperatura são baixas. O refrigerante recebe trabalho no compressor e transfere calor no condensador, onde a pressão e a temperatura são altas (BORGNAKKE e SONNTAG, 2013).

Figura 1: Ciclo de refrigeração.



**Fonte:** Borgnakke e Sonntag, 2013.

A queda de pressão é provocada no fluido quando este escoar através da válvula de expansão ou tubo capilar. Assim, o refrigerador ou o condicionador de ar é um dispositivo que opera segundo um ciclo e que necessita de trabalho, que é empregado ao compressor na forma de energia elétrica, para que obtenha a transferência de calor de um corpo a baixa temperatura para outro a alta temperatura (BORGNAKKE e SONNTAG, 2013).

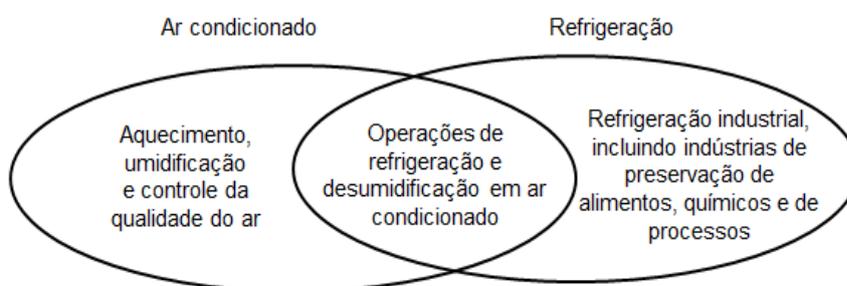
De acordo com Incropera (2008), para o termo transferência de calor e suas formas de transferência define-se:

Transferência de calor é a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço. Sempre que existir uma diferença de temperaturas em um meio ou entre meios, haverá, necessariamente, transferência de calor, quando existe um gradiente de temperatura em um meio estacionário, que pode ser um sólido ou um fluido, usamos o termo condução para nos referirmos à transferência de calor que ocorrerá através do meio. O termo convecção se refere à transferência de calor que ocorrerá entre uma superfície e um fluido em movimento quando eles estiverem a diferentes temperaturas. No modo de transferência de calor chamado de radiação térmica, todas as superfícies com temperaturas não nula emitem energia na forma de ondas eletromagnéticas (INCROPERA, 2008, p. 2).

Os sistemas de refrigeração podem ser divididos em três áreas: destinados à conforto, que será mais abordado neste trabalho, refrigeração industrial e a área da criogenia, esta, segundo Stoecker e Jabardo (2002), são aplicadas temperaturas inferiores a  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

As áreas de refrigeração e ar condicionado são correlatas, embora cada uma tenha seu campo específico de atuação conforme se mostra esquematicamente na Figura 2. A aplicação mais disseminada da refrigeração é, sem dúvida alguma, o ar condicionado, embora outras áreas podem ser citadas, tais como a refrigeração industrial, que inclui o processamento e a conservação de alimentos, a remoção de calor de substâncias em indústrias químicas, de petróleo e petroquímicas e, muitas outras aplicações em indústrias de construção e manufatura (STOECKER e JONES, 1985, p. 1).

Figura 2: Relação entre as áreas de refrigeração e de ar condicionado.



**Fonte:** Stoecker e Jones, 1985.

### 2.2.1 Refrigeração Industrial

Na colocação de Stoecker e Jabardo (2002), a refrigeração industrial se assemelha ao condicionamento de ar quanto ao objetivo de refrigerar alguma substância ou meio. Os componentes básicos de ambos os processos também não diferem: compressores, trocadores de calor, ventiladores, tubos, dutos e controles. No entanto:

A refrigeração industrial poderia ser caracterizada pela faixa de temperatura de operação. No limite inferior, as temperaturas podem atingir valores entre  $-60$  a  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  no limite superior. Outra forma de caracterizar a refrigeração industrial seria através das aplicações. Assim, a refrigeração industrial poderia ser descrita como sendo o processo utilizado nas indústrias químicas, de alimentos e de processos, envolvendo dois terços das aplicações e indústria manufatureira e laboratório (STOECKER e JABARDO, 2002, p. 2).

## 2.2.2 Ar Condicionado

Segundo Stoecker e Jones (1985), o ar condicionado é definido como processo de condicionamento de ar objetivando o controle de sua temperatura, umidade, pureza e distribuição, no sentido de proporcionar conforto aos ocupantes do recinto, assim, condicionamento de ar inclui processos de aquecimento, radiação térmica, regulagem da velocidade de insuflamento do ar e qualidade do ar, incluindo a remoção de partículas e vapores através da filtragem, condensação entre outros.

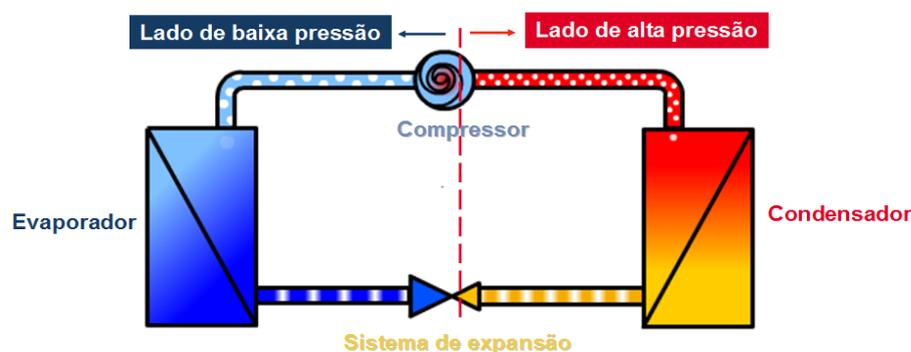
Embora mais recente, a definição é semelhante para a NBR 16401 (2008), onde estabelece que condicionamento de ar é o processo que objetiva controlar simultaneamente a temperatura, a umidade, a movimentação, a renovação e a qualidade do ar de um ambiente. A norma ainda define o termo *mini-split*:

Condicionador constituído por uma unidade de tratamento de ar de expansão direta, de pequena capacidade, (geralmente inferior a 10 kW), instalada dentro do ambiente a que serve (designada unidade interna), geralmente projetada para insuflação do ar por difusor incorporado ao gabinete, sem dutos, suprida em fluido refrigerante líquido por uma unidade condensadora, instalada externamente (designada unidade externa)(NBR 16401, 2008, p. 3).

### 2.2.2.1 Componentes Básicos do Ar-Condicionado

Conforme o manual de termo tecnologia da Bosch (2012) a Figura 3 apresenta o funcionamento de um condicionador de ar no ciclo de refrigeração, os componentes básicos: compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador, ressaltando a divisão do sistema: lado de baixa pressão e consequentemente baixa temperatura e lado de alta pressão e alta temperatura.

Figura 3: Funcionamento do condicionador de ar no ciclo de refrigeração.



**Fonte:** Bosch, 2012.

O compressor atua como o coração do sistema de refrigeração, criando o fluxo do refrigerante ao longo dos componentes do sistema. No processo, recebe

gás refrigerante em baixa temperatura e pressão, eleva a pressão e temperatura comprimindo o gás, tornando o vapor na saída (BOSCH, 2012).

O condensador é um trocador de calor, sua finalidade é liberar para o ambiente calor absorvido pelo fluido refrigerante no evaporador. Este processo ocorre através da convecção podendo ser de forma natural ou forçada. O fluido refrigerante entra vapor, em alta pressão e temperatura, perde seu calor circulando internamente no condensador e sai líquido (BOSCH, 2012).

Para Stoecker e Jabardo (2002), os condensadores são os responsáveis pelo arrefecimento do sistema de refrigeração e se classificam de acordo com o fluido para o qual se transfere calor, ou seja, em três tipos: Condensadores resfriados a ar, condensadores resfriados a água e condensadores evaporativos. Os condensadores resfriados a ar são comumente utilizados em sistemas de relativa baixa potência e sistemas destinados a conforto, para melhorar a eficiência da troca térmica é empregada a convecção forçada através do uso de ventiladores. No caso dos condensadores resfriados a água, o fluido utilizado no arrefecimento é somente água, já nos condensadores evaporativos o resfriamento se dá por meio de uma combinação de ar e água.

O Quadro 1 apresenta os valores típicos do coeficiente de transferência de calor por convecção, percebe-se a amplitude dos valores ao compararmos a convecção natural da convecção forçada, a diferença dos valores fica maior ainda se observarmos a convecção por meios de líquidos e com mudança de fase.

Quadro 1: Valores típicos para coeficiente de convecção.

| Processo                      |                        | $h$<br>(W/m <sup>2</sup> K) |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Convecção natural             | Gases                  | 2 - 25                      |
|                               | Líquidos               | 50 - 1000                   |
| Convecção forçada             | Gases                  | 25 - 250                    |
|                               | Líquidos               | 100 - 20.000                |
| Convecção com mudança de fase | Ebulição e condensação | 2.500 - 100.000             |

**Fonte:** Adaptado de Incropera, 2008.

O dispositivo de expansão tem a função de abaixar a pressão do fluido refrigerante, para que o mesmo entre no evaporador com temperatura e pressão

reduzida, permitindo assim que ele absorva calor interno do ambiente, alguns tipos de dispositivos além de abaixar, controlam a pressão:

- Válvula de expansão termostática.
- Válvulas de expansão eletrônicas.
- Válvulas de bóia.
- Válvula de expansão de pressão constante.
- Tubos capilares.

O tubo capilar, comumente utilizado nos condicionadores de ar, é um tubo com diâmetro interno reduzido, que separa a linha de alta pressão da de baixa, para provocar uma mudança de estado do fluido (BOSCH, 2012).

Assim como o condensador, o evaporador é um trocador de calor que absorve o calor para o sistema de refrigeração. Ele recebe fluido refrigerante no estado líquido, baixa a temperatura e pressão vindas do dispositivo de expansão, e através da absorção do calor do ambiente interno vaporiza o no interior da serpentina (BOSCH, 2012).

Não existe um ponto claramente definido de separação entre os estados líquido e gasoso do refrigerante no evaporador. Ele entra líquido, mas com uma pequena quantidade de gás, e gradativamente, à medida que vai percorrendo o evaporador, vaporiza-se até estar totalmente gasoso na saída do evaporador (BOSCH, 2012).

### 2.3 UMIDADE RELATIVA DO AR

A umidade é um elemento importante na vida do planeta, influenciando em plantas, animais e na temperatura do ambiente. Nas pessoas, a baixa umidade aumenta a incidência de doenças respiratórias, como rinite alérgica e asma, além de problemas na pele, olhos e sangramento nasal. A Organização Mundial de Saúde - OMS, recomenda que os índices abaixo de 60 % não são adequados para a saúde humana, considera como situação de alerta quando a umidade relativa do ar cair para menos de 30 % (BRASIL, 2018).

Para Miller e Miller (2008), é a temperatura que determina a quantidade de vapor de água que o ar pode reter, temperaturas mais elevadas significa que o ar possui uma maior capacidade de reter a água em suspensão. No ambiente externo, a condensação de água se torna chuva, porém em um ambiente interno, como uma

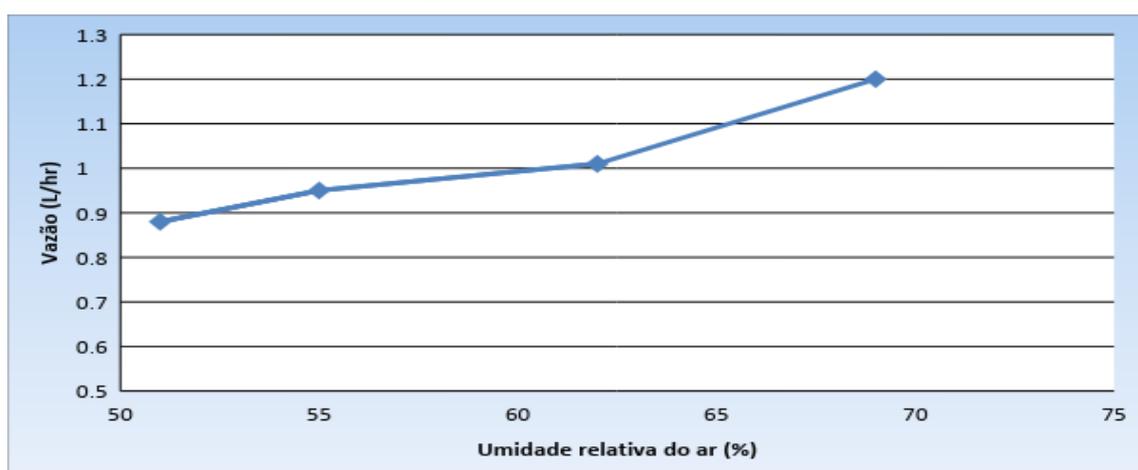
sala de uma residência, por exemplo, ela se torna condensação no vidro da janela. Assim, o ar seco atua de certa forma como uma esponja, absorvendo a umidade.

Creder (1996) considera que o ar atmosférico é composto de oxigênio, nitrogênio, dióxido de carbono, vapor d'água, argônio e outros gases raros, na proporção de 21 % de oxigênio e 79 % dos outros elementos. Define-se também que o termo umidade se refere à quantidade de vapor d'água presente na mistura de ar-vapor.

Para Antonovicz e Weber (2013), as funções de arrefecimento e de desumidificação realizam-se de forma simultânea nos trocadores de calor dos equipamentos de ar condicionado. A umidade contida no ar que circula é eliminada por condensação efetuada quando este entra em contato com a serpentina do trocador de calor, mantida a uma temperatura inferior à do ponto de orvalho. Para Creder (1996), o ponto de orvalho é a temperatura abaixo da qual se inicia a condensação, à pressão constante, do vapor d'água contido no ar.

Pimenta (2016) realizou medições da variação da condensação de água no funcionamento de um condicionador de ar de 9000 BTUs. A partir da análise da Figura 4, pode se comprovar que para umidades relativas maiores, por possuir mais partículas de água em suspensão no ar, o funcionamento do aparelho gera maior vazão.

Figura 4: Gráfico da vazão de água x umidade relativa do ar.

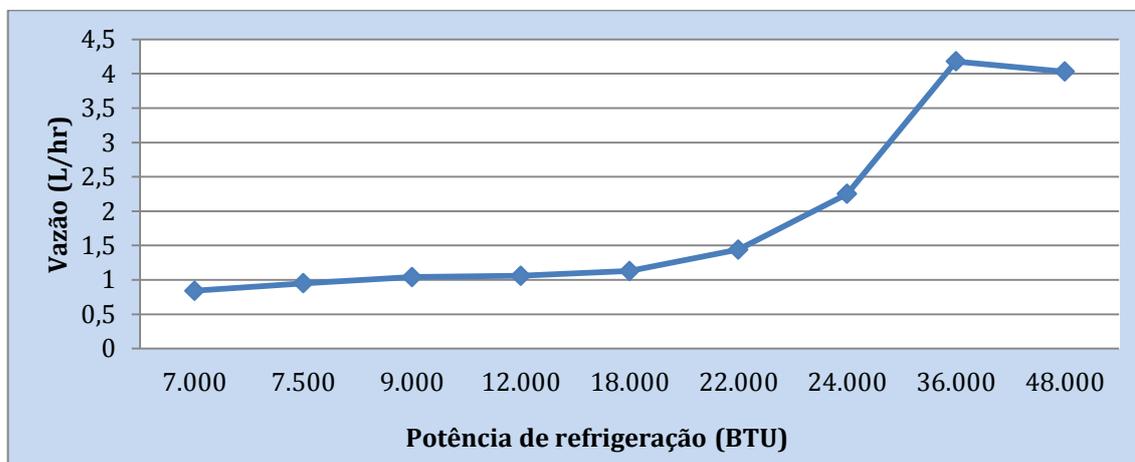


**Fonte:** Pimenta, 2016.

A quantidade de água condensada por um equipamento de ar condicionado também está relacionada com a potência do equipamento, podendo inclusive, sofrer influências das condições de operação: se está corretamente dimensionado,

devidamente limpo, estiver com a carga de fluido refrigerante correta, etc. Na Figura 5, pode-se perceber melhor a relação da vazão de água em função da potência do equipamento.

Figura 5: Gráfico da vazão de água x potência.



**Fonte:** Pimenta, 2016.

## 2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS

Os avanços na ciência e engenharia ocorrem em grande parte por meio de coleta e análise de dados e que normalmente estão sujeitos a variações aleatórias, fato que dificulta a sua análise e a torna desafiadora (NAVIDI, 2012). Com o auxílio de hardwares e softwares torna-se cada vez mais rápida e eficiente a realização de atividades, estudos, bem como a análise de dados, que seriam exaustivamente trabalhosas.

Em trabalhos de investigação, muitas vezes somos levados a tomar decisões baseados em observações do fenômeno que se está estudando. Temos que decidir se um novo método que está sendo proposto é melhor do que métodos já utilizados. Temos que escolher entre um conjunto de alternativas quais devem continuar ou quais devem ser desprezadas e assim por diante. Para tomar tais decisões, necessitamos estabelecer critérios. Aí surgem as técnicas estatísticas como um suporte à tomada de decisão. É através do uso de técnicas estatísticas que buscamos tirar conclusões de experiências e fatos novos em nosso trabalho do dia-a-dia (ANJOS, 2005, p. 5).

Navidi (2012) cita que a análise estatística está presente nas aplicações de engenheiros e cientistas, a análise e interpretação desempenham um papel cada vez maior em todos os aspectos da vida moderna.

Anjos (2005) complementa que os fenômenos em estudo, sejam eles naturais ou provocados, sofrem perturbações aleatórias e na grande parte dos

problemas relacionados a análise estatística de experimentos, se resolvem através de métodos da análise de variância.

A análise de variância, ou mais resumidamente ANOVA, refere-se de maneira ampla a um conjunto de situações experimentais e procedimentos estatísticos para a análise de respostas quantitativas de unidades experimentais. O problema ANOVA mais simples é conhecido por vários nomes, como fator único, classificação única ou ANOVA unidirecional, e envolve a análise de dados obtidos de amostras de mais de duas populações numéricas (distribuições) ou dados de experimentos em que foram empregados mais de dois tratamentos. A característica que diferencia os tratamentos ou populações entre si é chamada fator em estudo, e os tratamentos ou populações diferentes são chamados níveis do fator (DEVORE, 2006, p. 357).

Para Anjos (2005), “tratamento é uma condição imposta ou objeto que se deseja medir ou avaliar em um experimento.” (p.7). Como exemplos de tratamentos, pode-se citar: diferentes marcas de lubrificante em uma máquina, temperatura de armazenamento de um alimento, e no caso deste trabalho é a vazão de água empregada.

“Quando se está desenvolvendo um novo método analítico ou adaptando um método já existente, é preciso compará-lo com outro considerado como padrão para se certificar da validade dos resultados” (MOITA e NETO, 2010, p. 60). Os autores ainda complementam que primeiramente deve se comparar as precisões entre os dois métodos, através dos erros aleatórios, e quando as precisões forem estatisticamente iguais, ou seja, que não há diferença entre as variâncias, pode se, portanto, utilizar o teste F.

Anjos (2005) coloca que:

Quando tem-se apenas dois tratamentos no experimento, o teste F serve como um teste de comparação de médias. Porém, quando existem mais de dois tratamentos, o teste F não responde qual é o melhor tratamento. Para isso, utiliza-se testes de comparação de médias ou contrastes. [...] Após concluirmos que existe diferença significativa entre tratamentos através do teste F, podemos estar interessados em avaliar a magnitude destas diferenças através de um teste de comparações múltiplas. O teste Tukey permite testar qualquer contraste, sempre, entre duas médias de tratamentos, ou seja, não permite comparar grupos entre si (ANJOS,2005, p. 27).

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS**

O desenvolvimento deste trabalho foi conduzido a partir dos objetivos estipulados, embasado pela literatura existente, a metodologia caracteriza-se como uma pesquisa experimental do tipo descritiva.

Para Gil (2002), a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

As pesquisas descritivas têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre as variáveis (GIL, 2002).

Primeiramente pesquisaram-se publicações acerca da temática, tendo assim, fundamentação teórica para a elaboração do trabalho. Na sequência, foi-se necessário relacionar e adquirir todos os materiais a serem utilizados na instalação, instrumentos de medição, materiais que auxiliam na instalação e na aferição dos dados, etc.

Outro fator importante e que implicaria na realização dos ensaios, foi dispor de condições climáticas favoráveis, ou seja, a chegada da estação de inverno e as baixas temperaturas iriam comprometer o funcionamento do ar-condicionado em modo refrigeração. Uma vez que para condensar a umidade na evaporadora, o ar-condicionado deve operar em ciclo de refrigeração e para tanto, a temperatura ambiente deve estar razoavelmente quente, preferencialmente acima de 20 °C. Por isso foi conveniente realizar os ensaios práticos antes da chegada do inverno e assim respeitando o cronograma de entrega do trabalho.

Posteriormente instalou-se o condicionador de ar e os instrumentos de medição, e assim operando-o em diversas oportunidades, efetuando a leitura e o registro dos dados coletados e posteriormente analisando-os através de modelos matemáticos e estatísticos e então gerando os resultados.

#### **3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS**

Entre os materiais e equipamentos necessários para realizar esta pesquisa, além dos materiais didáticos, pode-se destacar os seguintes:

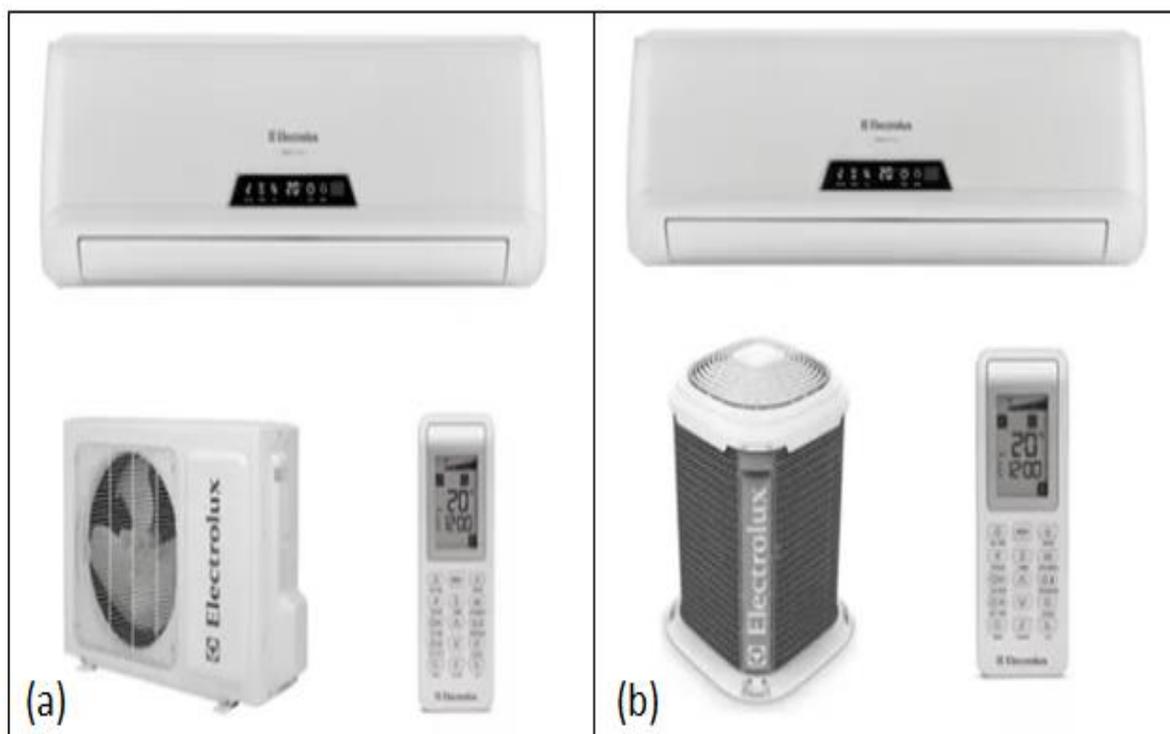
- a) Estrutura para instalação do ar-condicionado (denominada bancada de ensaios);
- b) Condicionador de ar do modelo mini-split;
- c) Materiais para a instalação do ar-condicionado: tubulação para a linha de refrigerante, cabos elétricos, bem como ferramental para instalação;
- d) Materiais para a instalação do sistema de reutilização da umidade condensada;
- e) Equipamentos para medição tais como: termômetro, higrômetro, alicate amperímetro e manômetro;
- f) Planilha para coleta e registro dos dados;
- g) Demanda de energia elétrica para a operação e funcionamento do equipamento.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 SELEÇÃO DO EQUIPAMENTO

O equipamento selecionado é do modelo *mini-split hi-wall*, cuja condensadora tem a descarga de ar horizontal. Esta seleção considerou os equipamentos consolidados no mercado e seus modelos à venda, como apresentado na Figura 6 (a) o modelo apresenta descarga de ar horizontal, já na Figura 6 (b) a descarga de ar é vertical. Outro fator importante é que modelo com descarga de ar horizontal contribui, devido a sua geometria, para a fixação do sistema de distribuição de água bem como para a distribuição da mesma.

Figura 6: Modelos de ar-condicionado *mini-split hi-wall*.



Fonte: Autor, 2018.

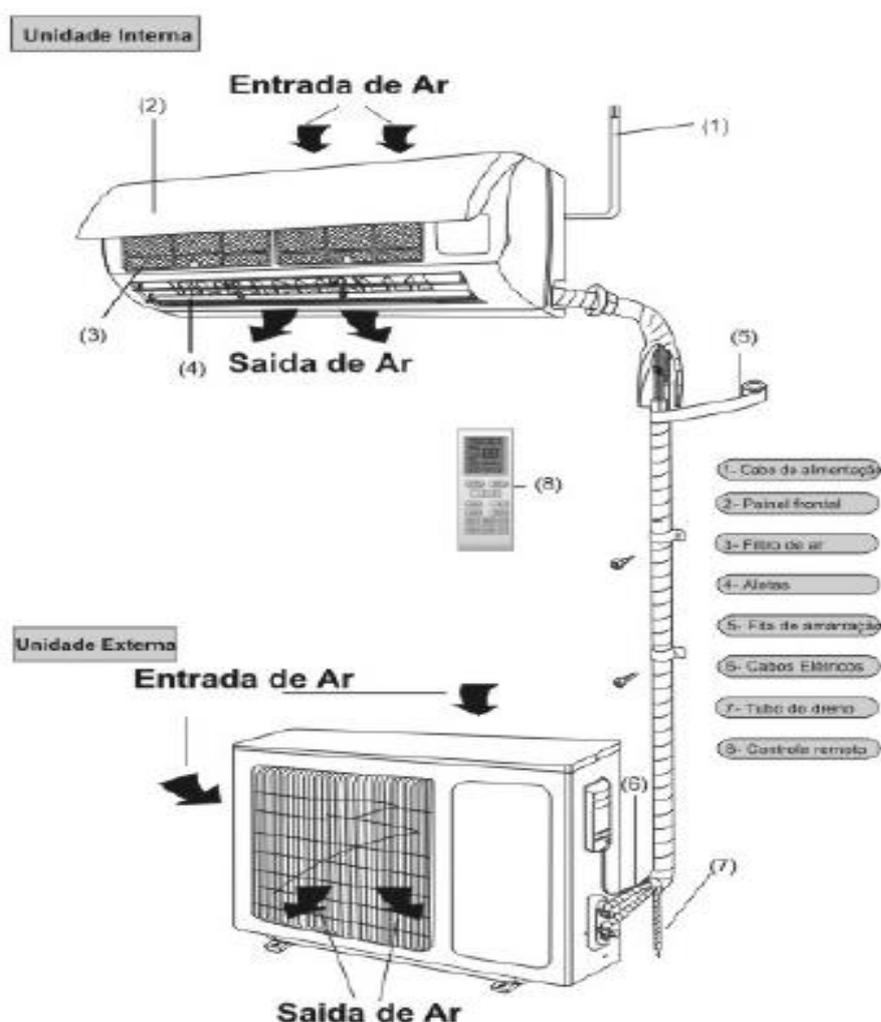
### 4.2 INSTALAÇÃO DO AR-CONDICIONADO E FUNCIONAMENTO

#### 4.2.1 Método de Instalação

A instalação do condicionador de ar foi realizada de acordo com as recomendações do manual do fabricante, adequando-se a estrutura de instalação ao

que é sugerido pelo manual de instalação. Na figura 7 está representada a forma de instalação.

Figura 7: Esquema de instalação e identificação dos componentes.



**Fonte:** Gree, 2018.

#### 4.2.2 Parâmetro de Funcionamento

Para certificar do correto funcionamento e o devido acerto da carga de refrigerante, é recomendado o uso do parâmetro do superaquecimento (GREE, 2018).

O superaquecimento (SA) é o acréscimo da temperatura do fluido refrigerante depois de ocorrida a sua evaporação. É calculado através da diferença entre a temperatura na linha de sucção ( $T_{suc}$ ) e a temperatura de evaporação ( $T_{ev}$ ) conforme Equação 1 (ELGIN, 2018).

$$SA = T_{suc} - T_{ev} \quad (1)$$

A temperatura de sucção é lida diretamente na linha de sucção devidamente isolada para não haver interferência da temperatura externa. A temperatura de evaporação é obtida através da pressão de evaporação que é lida com um manômetro instalado na linha de sucção e consultando posteriormente uma tabela, apresentada no Quadro 2, de propriedades termodinâmicas do fluido refrigerante (ELGIN, 2018).

Quadro 2: Tabela de pressão x temperatura R-410A

| Temp. de Saturação (°C) | Pressão de Vapor |                      |       | Temp. de Saturação (°C) | Pressão de Vapor |                      |       |
|-------------------------|------------------|----------------------|-------|-------------------------|------------------|----------------------|-------|
|                         | (MPa)            | (kg/m <sup>3</sup> ) | (Psi) |                         | (MPa)            | (kg/m <sup>3</sup> ) | (Psi) |
| -9                      | 0,491            | 5                    | 71    | 7                       | 0,888            | 9,1                  | 129   |
| -8                      | 0,511            | 5,2                  | 74    | 8                       | 0,918            | 9,4                  | 133   |
| -7                      | 0,532            | 5,4                  | 77    | 9                       | 0,949            | 9,7                  | 138   |
| -6                      | 0,554            | 5,6                  | 80    | 10                      | 0,981            | 10                   | 142   |
| -5                      | 0,576            | 5,9                  | 84    | 11                      | 1,013            | 10,3                 | 147   |
| -4                      | 0,599            | 6,1                  | 87    | 12                      | 1,046            | 10,7                 | 152   |
| -3                      | 0,622            | 6,3                  | 90    | 13                      | 1,08             | 11                   | 157   |
| -2                      | 0,646            | 6,6                  | 94    | 14                      | 1,114            | 11,4                 | 162   |
| 0                       | 0,695            | 7,1                  | 101   | 15                      | 1,15             | 11,7                 | 167   |
| 1                       | 0,721            | 7,4                  | 105   | 16                      | 1,186            | 12,1                 | 172   |
| 2                       | 0,747            | 7,6                  | 108   | 17                      | 1,222            | 12,5                 | 177   |
| 3                       | 0,774            | 7,9                  | 112   | 18                      | 1,26             | 12,9                 | 183   |
| 4                       | 0,802            | 8,2                  | 116   | 19                      | 1,298            | 13,2                 | 188   |
| 5                       | 0,83             | 8,5                  | 120   | 20                      | 1,338            | 13,6                 | 194   |
| 6                       | 0,859            | 8,8                  | 124   | 21                      | 1,378            | 14,1                 | 200   |

**Fonte:** Adaptado de Gree, 2018.

Para a linha de condicionadores de ar Split a faixa recomendada é de 5 °C a 7 °C, com o equipamento funcionando nas condições segundo norma AHRI 210 (*Air-conditioning, Heating, and Refrigeration Institute*) que trata especificamente da avaliação de desempenho de equipamentos de ar-condicionado e bombas de calor. Considerando que o equipamento está trabalhando dentro das condições de norma, pode se fazer a seguinte análise (GREE, 2018):

- Superaquecimento na faixa (5 °C < SA < 7 °C) = Carga correta.
- Superaquecimento abaixo faixa (SA < 5 °C) = Excesso de refrigerante.
- Superaquecimento acima faixa (SA > 7 °C) = Falta refrigerante.

#### 4.2.3 Instalação dos Instrumentos de Medição

Na Figura 8, ilustra-se a instalação do ar-condicionado na bancada junto com os instrumentos de medição: Manômetro para a aferição da pressão no ponto P, alicate amperímetro para a leitura da corrente e tensão elétrica no ponto T. I. No ponto T3 mede-se a temperatura na linha de pressão, no ponto T4 a temperatura na linha de sucção, no ponto T5 está disposto o sensor que mede a temperatura no insuflamento do exaustor, T6 refere-se ao termo higrômetro que é responsável pela medição da umidade relativa do ar e da temperatura ambiente. No ponto T7 está disposto o sensor de temperatura no insuflamento da evaporadora.

Figura 8: Instalação do ar-condicionado com instrumentos de medição.



**Fonte:** Autor, 2018.

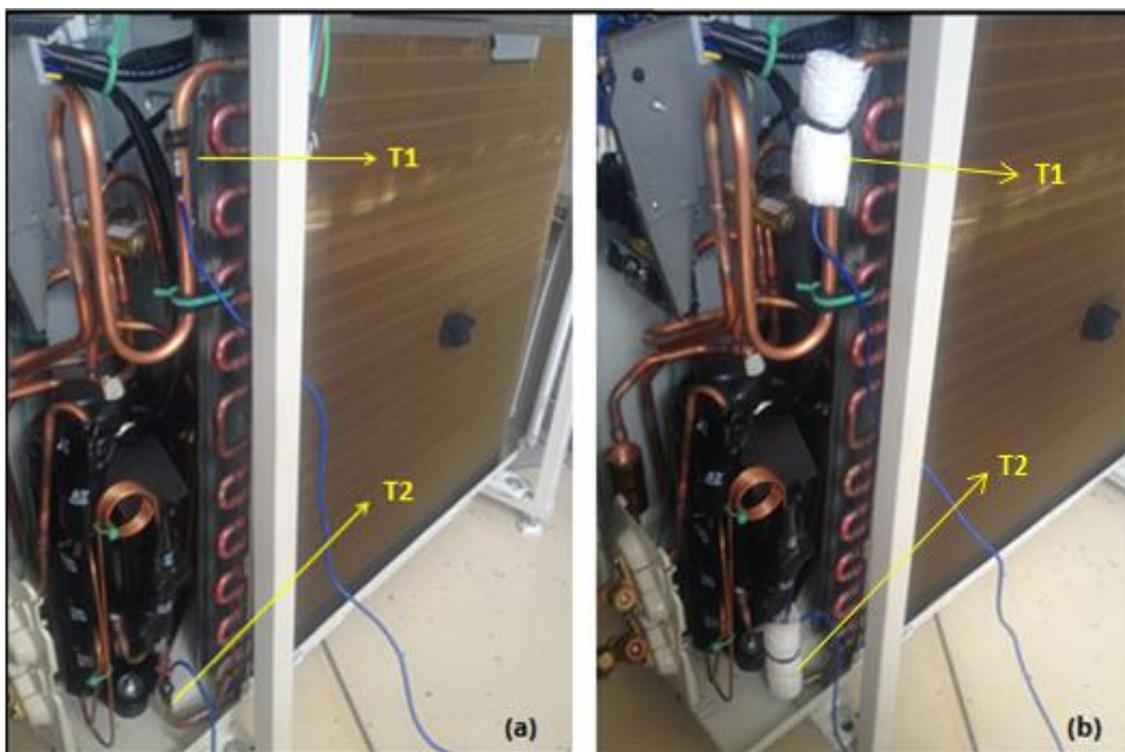
O termohigrômetro realiza medições de temperatura com uma resolução de  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  e precisão de  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , na medição da umidade relativa do ar a resolução é de  $1\%$  e a precisão de  $\pm 10\%$ . Para efetuar a medida da tensão e corrente elétrica o

alicate amperímetro conta com precisão de 3 %. Já para aferir a pressão interna na linha de sucção do sistema, foi utilizado um manômetro específico para R-410A e que realiza medições na faixa de 0 a 500 psi.

Na medição das temperaturas foi utilizado um termômetro digital portátil com cinco sensores, que por ser um equipamento versátil é indicado para trabalhos em campo e oficina, nas medições de temperatura de aparelhos de ar-condicionado central, automotivo ou de janela, balanceamento frigorífico de evaporadores, etc. Realiza medições na faixa de temperatura de  $-50,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $105,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ainda possui resolução de  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  e precisão de  $\pm 0,3\%$ .

Para a aferição das temperaturas especificamente na entrada e na saída do fluido refrigerante na serpentina, como demonstrado na Figura 9 (a) seguiu-se a instalação dos sensores e sua devida isolamento, representada na Figura 9 (b). No ponto T1 mede-se a temperatura do fluido refrigerante na entrada da serpentina, já no ponto T2 refere-se a temperatura na saída da serpentina.

Figura 9: Instalação dos sensores de temperatura na serpentina.



Fonte: Autor, 2018.

### 4.3 SISTEMA PARA A DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA

Operando o condicionador de ar em diversas oportunidades, a fim de contemplar variadas situações de funcionamento, projetando-se então uma forma para a distribuição uniforme da água ao longo da serpentina, inicialmente, fez-se uso uma calha instalada na superfície posterior da serpentina, conforme Figura 10, adicionando-se uma espuma de baixa densidade para fazer com que a água escoe e abrange a maior área possível.

Figura 10: Distribuição da água por meio de calha.



**Fonte:** Autor, 2018.

Porém neste método não se teve o resultado esperado em termos de distribuição da água, que tendia a infiltrar-se somente em determinados pontos.

Partindo então a tencionar outra maneira para resultar em melhor rendimento, optou-se por um tubo contendo diversos furos de tamanho reduzido, formando assim um aspersor, curvando-o no mesmo formato o qual distribuía a água de forma proporcional sobre a serpentina.

Observou-se nesta opção, demonstrada na Figura 11, que a distribuição ocorre de forma uniforme e proporcional, ou seja, dependendo da vazão empregada na entrada do tubo, os furos calibrados ajustam a distribuição e a vazão que é relativa ao longo da serpentina. A presença da espuma que já vem instalada de fábrica auxilia em benefício da distribuição da água, que por ação da gravidade, flui até a base da serpentina e posteriormente pode ser coletada e utilizada novamente.

Figura 11: Distribuição da água por meio de tubo aspersor.



**Fonte:** Autor, 2018.

#### 4.4 COLETA E REGISTRO DOS DADOS

Estando o condicionador de ar instalado e em funcionamento, passou-se a monitorar os instrumentos e registrar os dados na folha de controle, que foi elaborada visando total controle dos dados, que como supracitado, variam de acordo com as condições climáticas do ambiente no momento do ensaio, também se espera a variação dos valores em função da utilização da água no auxílio do arrefecimento.

Através dos dados apontados na folha de controle, apresentada no Apêndice A, pode-se retirar os valores respectivos para aplicar o método do superaquecimento e assim certificar-se do correto funcionamento do ar-condicionado. Retirando-se o valor referente à  $T_{suc}$  localizada na coluna T4 da folha de controle, onde também se retira o valor da pressão na coluna P.

Como o equipamento demora alguns minutos para estabilizar as temperaturas e pressão, se utilizará os valores da segunda medição. Portanto para a pressão de 145 psi, retira-se na tabela de pressão x temperatura, apresentada no Quadro 2, um valor de 10,6 °C. Como o valor exato de 145 psi não é encontrado nesta tabela, interpolou-se entre os valores mais próximos de 142 psi e 147 psi, com as respectivas temperaturas e assim resultando em 10,6 °C. Utilizando a Equação 1 tem-se:

$$SA = 16,6\text{ }^{\circ}\text{C} - 10,6\text{ }^{\circ}\text{C} = 6\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

Para este valor de temperatura (SA= 6 °C) a carga de refrigerante é classificada como correta. Ressaltando na opinião de outros autores, que pode haver uma ligeira diferença no resultado podendo estar acima de 7 °C ou abaixo de 5 °C, estando assim numa faixa aceitável no parâmetro de superaquecimento.

## 4.5 ANÁLISE DOS DADOS

### 4.5.1 Temperatura Ambiente

Para investigar a influência estatística, foram analisados o teste de normalidade e a Análise de Variância, utilizada no software *Origin*, seguido do teste de Tukey avaliado em nível de significância de 5 %. No entanto, para realizar estas interações estatísticas e matemáticas, é necessário que haja o mesmo número de amostras para os tratamentos em análise. Por isso, os dados apresentados no Apêndice A foram reagrupados e colocados lado a lado, como é possível verificar no Quadro 3. Os tratamentos com água acumulada nas vazões de 1,2 litros por minuto e 1,5 litros por minuto foram juntados como um único tratamento, totalizando oito amostras, denominando-se tratamento acumulado, ou simplesmente acumulado.

Por conseqüente no tratamento onde a água utilizada era gerada de forma instantânea, compreendendo as vazões de 1,6 litros por hora a 1,8 litros por hora,

selecionou-se a mesma quantidade de amostras (oito amostras), denominando-se tratamento instantâneo.

Denomina-se de tratamento padrão o grupo de amostras recolhidas com o equipamento funcionando em modo padrão, onde também se selecionou a mesma quantidade de amostras, primando a escolha onde a temperatura ambiente estivesse semelhante com as amostras dos outros tratamentos. Tornando assim este quadro de amostras mais uniforme, conforme apresentado no Quadro 3, percebe-se nas médias a semelhança das temperaturas.

Quadro 3: Temperatura ambiente

|           | Padrão (°C) | Instantâneo (°C) | Acumulado (°C) |
|-----------|-------------|------------------|----------------|
|           | 26,8        | 27,4             | 27,4           |
|           | 27,6        | 27,6             | 27,4           |
|           | 27,9        | 27,6             | 27,9           |
|           | 27,0        | 27,6             | 27,9           |
|           | 27,9        | 27,6             | 27,9           |
|           | 27,9        | 27,9             | 27,6           |
|           | 27,9        | 27,6             | 27,6           |
|           | 27,6        | 28,2             | 27,6           |
| $\bar{M}$ | 27,6        | 27,7             | 27,7           |

**Fonte:** Autor, 2018.

Efetuada a ANOVA seguida do teste Tukey para estes tratamentos, comprovou-se não haver diferenças significativas entre as médias e desta forma validando os dados e indicando coerência para o experimento.

#### 4.5.2 Gradiente de Temperatura Entre a Tomada de Ar e Seu Insuflamento

Conforme o objetivo específico estipulado em obter uma redução da temperatura entre o ar que é admitido na condensadora e seu insuflamento, analisam-se os dados do Quadro 4.

Calculando a diferença de temperatura média para o tratamento padrão do Quadro 4 com o Quadro 3 será:

$$\Delta T\bar{M} = 35,8\text{ }^{\circ}\text{C} - 27,6\text{ }^{\circ}\text{C} = 8,2\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Realizando o mesmo cálculo para o tratamento acumulado:

$$\Delta T\bar{M} = 31,4\text{ }^{\circ}\text{C} - 27,7\text{ }^{\circ}\text{C} = 3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Relacionando os dois resultados tem-se uma diferença significativa de 54%, ou seja, o tratamento acumulado reduziu 4,5 °C o gradiente de temperatura. No

tratamento instantâneo não se observou alteração em comparação com o tratamento padrão.

Quadro 4: Temperatura no insuflamento do exaustor

|           | Padrão (°C) | Instantâneo (°C) | Acumulado (°C) |
|-----------|-------------|------------------|----------------|
|           | 34,9        | 35,0             | 30,4           |
|           | 36,6        | 34,9             | 30,4           |
|           | 36,7        | 35,3             | 31,0           |
|           | 35,2        | 36,2             | 30,8           |
|           | 34,3        | 36,5             | 32,1           |
|           | 35,7        | 35,9             | 32,4           |
|           | 36,6        | 35,7             | 32,1           |
|           | 36,6        | 36,6             | 32,3           |
| $\bar{M}$ | 35,8        | 35,8             | 31,4           |

**Fonte:** Autor, 2018.

Submetendo estes dados a ANOVA, prosseguido do teste Tukey indica haver diferenças significativas entre o tratamento acumulado/padrão e acumulado/instantâneo. Já nos tratamentos padrão/ instantâneo, indica não haver diferenças significativas. Desta forma podemos concluir que o melhor tratamento é o acumulado.

#### 4.5.3 Temperatura na Saída da Serpentina.

No Quadro 5 estão apresentadas as temperaturas para os três tratamentos, que foram coletadas na saída da serpentina, especificamente no ponto T2 representado anteriormente na Figura 9.

Quadro 5: Temperatura na saída da serpentina

|           | Padrão (°C) | Instantâneo (°C) | Acumulado (°C) |
|-----------|-------------|------------------|----------------|
|           | 29,2        | 28,9             | 26,3           |
|           | 30,5        | 29,2             | 26,7           |
|           | 30,5        | 29,5             | 27,9           |
|           | 28,9        | 30,0             | 27,9           |
|           | 29,2        | 30,2             | 29,6           |
|           | 28,6        | 30,1             | 29,2           |
|           | 30,2        | 29,9             | 28,9           |
|           | 30,2        | 29,9             | 28,9           |
| $\bar{M}$ | 29,7        | 29,7             | 28,2           |

**Fonte:** Autor, 2018.

Percebe-se que para o tratamento padrão e instantâneo não houve diferença nas médias de temperaturas, já o tratamento acumulado apresentou uma diferença de 1,5 °C, representando redução de 5 %.

Os dados apresentados no Quadro 5 foram sujeitos a ANOVA e teste Tukey, indicando não haver diferença significativa entre os tratamentos padrão/instantâneo, porém apresentou diferenças significativas entre os tratamentos acumulado/padrão e acumulado/instantâneo, e assim validando a análise realizada.

#### 4.5.4 Consumo de Corrente Elétrica

Outro fator importante e estipulado como objetivo específico é a diminuição da corrente elétrica de consumo, que como se sabe está atrelado ao consumo de energia elétrica do equipamento. O Quadro 6 mostra as medições da corrente elétrica consumida pelo equipamento nos três tipos de tratamentos aplicados.

Quadro 6: Consumo de corrente elétrica.

|           | <b>Padrão (A)</b> | <b>Instantâneo (A)</b> | <b>Acumulado (A)</b> |
|-----------|-------------------|------------------------|----------------------|
|           | 3,5               | 3,5                    | 3,1                  |
|           | 3,5               | 3,5                    | 3,1                  |
|           | 3,5               | 3,5                    | 3,2                  |
|           | 3,4               | 3,5                    | 3,2                  |
|           | 3,3               | 3,5                    | 3,2                  |
|           | 3,5               | 3,5                    | 3,05                 |
|           | 3,5               | 3,5                    | 3,08                 |
|           | 3,5               | 3,5                    | 3,08                 |
| $\bar{M}$ | 3,46              | 3,50                   | 3,11                 |

**Fonte:** Autor, 2018.

Analisando se os dados por meio da ANOVA e teste Tukey, indica não haver diferenças significativas entre as médias dos tratamentos padrão/instantâneo, porém o tratamento acumulado apresenta diferenças significativas para os outros dois tratamentos.

O tratamento acumulado, em comparação com o tratamento padrão possui uma redução de 0,35 amperes, representando diminuição de 10,1%, fato que representa uma economia em energia elétrica de 77 Watts.

## CONCLUSÃO

Ao analisar a possibilidade de utilizar a umidade condensada como auxílio no arrefecimento da condensadora do ar-condicionado, comprova-se a partir do estudo realizado, uma grande diminuição das temperaturas de insuflamento do exaustor, onde o objetivo foi estipulado em uma redução de 10 % e no caso do tratamento acumulado, obteve-se uma taxa expressiva de 54 %.

Nas temperaturas do fluido na saída da serpentina, o objetivo era uma redução de 10 % e obtiveram-se consideráveis 5 %. É também bastante considerável a redução do consumo de energia elétrica quando o equipamento opera com o sistema de acúmulo de água. O objetivo específico estipulado em uma redução de 5% foi alcançado e em uma taxa superior igual a 10,1 %.

Ao aplicar este sistema estudado permite a reutilização da umidade condensada no arrefecimento da condensadora, de forma eficiente e que conseqüentemente reduz o consumo de energia elétrica, que no exemplo deste trabalho, a redução é de 77 Watts.

Aplicando este resultado a um maior número de equipamentos ou de maior potência, a redução de energia elétrica iria se multiplicar de forma expressiva. Bem como, o aquecimento gerado pelo sistema e expelido pelo exaustor para o ambiente, diminuiria de forma expressiva.

Utilizando este sistema em equipamentos de ar condicionado dotados de sistema inverter, inclusive no motor do exaustor, resultará em maior economia de energia elétrica, já que o equipamento realiza a leitura instantânea das temperaturas e ajusta a rotação do motor do exaustor conforme a demanda.

A elaboração deste trabalho é o primeiro passo, uma vez que apresentado uma boa alternativa, deve-se futuramente analisar os sistemas para o acúmulo e distribuição da água, se poderá ocorrer alguma implicação quanto à incrustação e criação de biofilme junto à serpentina da condensadora, etc. Também seria necessário estudar o fluxo da água após realizar a convecção na serpentina, se a mesma será bombeada e passará novamente, refazendo o processo, ou se ainda poderá ser utilizada para outros fins, como na irrigação de jardins, limpeza, lavanderia, etc.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 16401:2008**. Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projetos e instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ABRAVA. **Economia e praticidade fazem aparelhos split dominarem o mercado de ar condicionado**. Disponível em: <<http://abrava.com.br/?p=8776>>. Acessado em 26 de março de 2018.

ANJOS, A. D. **Planejamento de experimentos I**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005.

ANTONOVICZ, D.; WEBER, R. G. B. **Inventário e PMOC – Plano de manutenção operação e controle – nos condicionadores de ar do Câmpus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. 2013. Trabalho de conclusão de curso Tecnólogo em Manutenção Industrial – Universidade Federal do Paraná, Medianeira, 2013.

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da termodinâmica**. 8. Ed. São Paulo: Blucher, 2013.

BOSCH. **Manual de termo tecnologia**. Campinas: Bosch, 2012.

BRASIL. Lei nº. 13.589, de 4 janeiro de 2018. Dispõe sobre a manutenção de instalações e equipamentos de sistemas de climatização de ambientes. **Diário Oficial da União**, Brasília, 5 de janeiro de 2018. Seção 1, pt 1.

BRASIL. **Período com baixa umidade do ar requer cuidados especiais**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/saude/2015/07/periodo-com-baixa-umidade-do-ar-requer-cuidados-especiais>>. Acessado em 19 de abril de 2018.

CÂMARA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO. **Lei nº. 2749, de 23 de Março de 1999**. Disponível em: <<https://cm-rio-de-janeiro.jusbrasil.com.br/legislacao/267861/lei-2749-99>>. Acessado em 25 de maio de 1999.

CREDER, H. **Instalações de ar condicionado**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. 6. Ed. São Paulo: Cengage Learning, 2006.

ELGIN. **Manual de instalação – Condicionador de ar Hi-Wall**. São Paulo: Elgin, 2018.

FILHO, S. **Projeto de Lei nº 4060 de 2015**. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2075082>>. Acessado em 11 de março de 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GREE. **Manual de operação, instalação e manutenção – Condicionador de ar Split Wall**. Manaus: Gree, 2018

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

MILLER, R.; MILLER, M. R. **Refrigeração e ar condicionado**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

MOITA, G. C.; NETO, J. M. M. **Estatística aplicada à química**. Teresina: Universidade Federal do Piauí, 2010.

NAVIDI, W. **Probabilidade e estatística para ciências exatas**. Porto Alegre: AMGH, 2012.

PIMENTA, P. L. **Análise quantitativa do aproveitamento da água dos aparelhos de ar condicionado do centro de tecnologia da UFRN**. 2016. Trabalho de conclusão de curso Bacharelado em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

STOECKER, W. F.; JONES, J. W. **Refrigeração e ar condicionado**. São Paulo: McGraw-Will do Brasil, 1985.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. S. **Refrigeração industrial**. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2002.

## APÊNDICE A

| FOLHA DE CONTROLE |         |         |         |         |         |         |         |       |    |         |       |        |         |        |       |         |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|----|---------|-------|--------|---------|--------|-------|---------|
| Medição           | T1 (°C) | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | T6 (°C) | T7 (°C) | I (A) | UR | P (psi) | T (V) | Padrão | C/ água | Data   | Hora  | Vazão   |
| 1                 | 58,3    | 29,8    | 16,8    | 17,2    | 35,0    | 29,0    | 17,9    | 3,3   | 66 | 140     | 221   | x      |         | 16/mar | 13:35 |         |
| 2                 | 59,7    | 29,6    | 16,5    | 16,6    | 34,3    | 29,3    | 17,5    | 3,3   | 63 | 145     | 220   | x      |         | 16/mar | 13:37 |         |
| 3                 | 60,6    | 29,8    | 16,8    | 16,4    | 35,0    | 29,6    | 17,7    | 3,3   | 63 | 145     | 220   | x      |         | 16/mar | 13:42 |         |
| 4                 | 61,5    | 29,7    | 16,7    | 16,8    | 35,1    | 29,1    | 17,9    | 3,3   | 64 | 145     | 220   |        | x       | 16/mar | 13:48 | 1,8 L/h |
| 5                 | 61,6    | 29,5    | 16,2    | 15,3    | 34,3    | 29,3    | 17,2    | 3,3   | 63 | 145     | 220   |        | x       | 16/mar | 13:58 | 1,8 L/h |
| 6                 | 61,6    | 29,9    | 16,5    | 16,2    | 34,7    | 29,3    | 17,5    | 3,4   | 63 | 145     | 220   |        | x       | 16/mar | 14:05 | 1,8 L/h |
| 7                 | 59,0    | 30,6    | 16,5    | 15,9    | 35,4    | 29,9    | 17,7    | 3,4   | 57 | 140     | 220   |        | x       | 16/mar | 15:25 |         |
| 8                 | 60,9    | 31,0    | 16,8    | 15,2    | 35,9    | 29,9    | 17,4    | 3,4   | 55 | 140     | 220   |        | x       | 16/mar | 15:32 | 1,8 L/h |
| 9                 | 61,2    | 31,2    | 17,4    | 15,3    | 36,3    | 30,5    | 18,3    | 3,4   | 52 | 140     | 220   |        | x       | 16/mar | 15:40 | 1,8 L/h |
| 10                | 61,5    | 28,9    | 15,1    | 14,9    | 34,8    | 26,8    | 16,5    | 3,5   | 70 | 135     | 220   |        | x       | 23/abr | 10:00 | 0,0 L/h |
| 11                | 62,2    | 29,2    | 15,2    | 14,6    | 34,9    | 26,8    | 16,3    | 3,5   | 67 | 135     | 220   |        | x       | 23/abr | 10:30 | 0,9 L/h |
| 12                | 62,2    | 28,6    | 14,9    | 15,1    | 35,0    | 26,8    | 16,3    | 3,5   | 67 | 135     | 220   |        | x       | 23/abr | 10:40 | 1,8 L/h |
| 13                | 63,1    | 28,9    | 15,1    | 15,4    | 35,0    | 27,4    | 16,6    | 3,5   | 65 | 135     | 220   |        | x       | 23/abr | 10:45 | 1,8 L/h |
| 14                | 63,4    | 29,2    | 15,1    | 15,3    | 34,9    | 27,6    | 16,6    | 3,5   | 65 | 135     | 220   |        | x       | 23/abr | 10:55 | 1,8 L/h |
| 15                | 63,5    | 29,5    | 15,2    | 15,6    | 35,3    | 27,6    | 16,7    | 3,5   | 65 | 135     | 220   |        | x       | 23/abr | 11:05 | 1,8 L/h |
| 16                | 62,5    | 30,5    | 16,2    | 14,9    | 36,6    | 27,6    | 17,0    | 3,5   | 65 | 135     | 220   |        | x       | 23/abr | 13:26 | 0,0 L/h |
| 17                | 63,5    | 30,5    | 16,2    | 15,0    | 36,7    | 27,9    | 17,0    | 3,5   | 65 | 135     | 220   |        | x       | 23/abr | 13:56 | 0,8 L/h |
| 18                | 63,5    | 30,0    | 16,1    | 15,2    | 36,2    | 27,6    | 17,0    | 3,5   | 65 | 135     | 220   |        | x       | 23/abr | 14:02 | 1,6 L/h |
| 19                | 63,5    | 30,2    | 15,8    | 15,8    | 36,5    | 27,6    | 17,1    | 3,5   | 65 | 135     | 220   |        | x       | 23/abr | 14:05 | 1,6 L/h |
| 20                | 63,8    | 30,1    | 15,8    | 15,5    | 35,9    | 27,9    | 17,0    | 3,5   | 65 | 135     | 220   |        | x       | 23/abr | 14:08 | 1,6 L/h |
| 21                | 63,8    | 29,9    | 15,6    | 15,3    | 35,7    | 27,6    | 16,9    | 3,5   | 65 | 135     | 220   |        | x       | 23/abr | 14:10 | 1,6 L/h |
| 22                | 63,5    | 29,9    | 15,8    | 15,3    | 36,6    | 28,2    | 17,3    | 3,5   | 65 | 135     | 220   |        | x       | 23/abr | 14:30 | 1,6 L/h |
| 23                | 56,2    | 28,9    | 14,8    | 12,0    | 35,2    | 27,0    | 15,4    | 3,4   | 60 | 130     | 220   |        | x       | 27/abr | 09:55 |         |
| 24                | 57,1    | 26,3    | 13,0    | 15,9    | 30,4    | 27,4    | 15,6    | 3,1   | 60 | 135     | 220   |        | x       | 27/abr | 10:00 | 1,5 L/m |
| 25                | 58,4    | 26,7    | 12,6    | 16,3    | 30,4    | 27,4    | 16,0    | 3,1   | 60 | 135     | 220   |        | x       | 27/abr | 10:05 | 1,5 L/m |
| 26                | 60,2    | 29,2    | 13,9    | 15,9    | 34,3    | 27,9    | 16,1    | 3,3   | 57 | 135     | 220   |        | x       | 27/abr | 10:11 |         |
| 27                | 61,2    | 27,9    | 12,8    | 16,2    | 31,0    | 27,9    | 16,5    | 3,2   | 57 | 135     | 220   |        | x       | 27/abr | 10:15 | 1,5 L/m |
| 28                | 61,5    | 27,9    | 12,1    | 16,5    | 30,8    | 27,9    | 16,7    | 3,2   | 57 | 135     | 220   |        | x       | 27/abr | 10:18 | 1,5 L/m |
| 29                | 61,3    | 28,6    | 14,5    | 15,5    | 35,7    | 27,9    | 16,2    | 3,5   | 57 | 135     | 220   |        | x       | 27/abr | 10:30 |         |
| 30                | 57,7    | 30,2    | 14,8    | 11,4    | 36,6    | 27,9    | 14,7    | 3,5   | 50 | 130     | 220   |        | x       | 10/mai | 11:15 |         |
| 31                | 57,8    | 30,2    | 14,8    | 11,5    | 36,6    | 27,6    | 14,6    | 3,5   | 50 | 135     | 220   |        | x       | 10/mai | 11:20 |         |
| 32                | 57,8    | 29,6    | 13,6    | 14,6    | 32,1    | 27,9    | 15,3    | 3,2   | 50 | 130     | 220   |        | x       | 10/mai | 11:25 | 1,2 L/m |
| 33                | 59,0    | 29,2    | 13,0    | 15,6    | 32,4    | 27,6    | 15,4    | 3,05  | 50 | 130     | 220   |        | x       | 10/mai | 11:26 | 1,2 L/m |
| 34                | 59,6    | 28,9    | 12,9    | 15,9    | 32,1    | 27,6    | 15,5    | 3,08  | 50 | 130     | 220   |        | x       | 10/mai | 11:27 | 1,2 L/m |
| 35                | 60,6    | 28,9    | 12,9    | 16,2    | 32,3    | 27,6    | 15,5    | 3,08  | 50 | 130     | 220   |        | x       | 10/mai | 11:29 | 1,2 L/m |

| LEGENDA | T1 | Temperatura na entrada da serpentina | T5 | Temperatura no insuflamento do exaustor    | UR | Umidade relativa do ar | Condições de funcionamento padrão, sem uso de água            |  |
|---------|----|--------------------------------------|----|--|----|------------------------|---|--|
|         | T2 | Temperatura na saída da serpentina   | T6 | Temperatura ambiente                       | P  | Pressão                | Funcionamento com uso de água instantâneo (1,6 L/h a 1,8 L/h) |  |
|         | T3 | Temperatura na linha de pressão      | T7 | Temperatura de insuflamento na evaporadora | T  | Tensão                 | Funcionamento com uso de água acumulada e vazão de 1,5 L/ min |  |
|         | T4 | Temperatura na linha de sucção       | I  | Corrente de consumo                        |    |                        | Funcionamento com uso de água acumulada e vazão de 1,2 L/ min |  |