

ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA
FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA – FACEG
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ALEXANDRE AUGUSTO FENELON FILHO

**Sistema de captação e aproveitamento da água condensada gerada pelos aparelhos
condicionadores de ar**

GOIANÉSIA

2021

ALEXANDRE AUGUSTO FENELON FILHO

Sistema de captação e aproveitamento da água condensada gerada pelos aparelhos condicionadores de ar

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

GOIANÉSIA
2021

FICHA CATALOGRÁFICA

F333s

Filho, Alexandre Augusto Fenelon.

Sistema de captação e aproveitamento da água condensada gerada pelos aparelhos condicionadores de ar / Alexandre Augusto Fenelon Filho – Goianésia: Faculdade Evangélica de Goianésia, 2021 – Faceg, 2021.

45 p.; il.

Orientador: Prof. Dra Lauriane Gomes Santin.

Monografia de Graduação – Faculdade Evangélica de Goianésia: FACEG, 2021.

1. Água condensada. 2. Condicionadores de ar 3. Reaproveitamento
I. Filho, Alexandre Augusto Fenelon. II. Sistema de captação de captação e aproveitamento da água condensada gerada pelos aparelhos condicionadores de ar

CDU 621

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Filho, A.A.F. **Sistema de captação e aproveitamento da água condensada gerada pelos aparelhos condicionadores de ar.** Trabalho de conclusão Curso (Graduação em Engenharia mecânica) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia-GO, 2021.

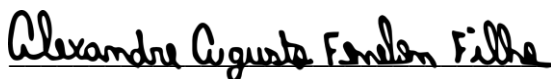
CESSÃO DE DIREITOS

NOME: ALEXANDRE AUGUSTO FENELON FILHO

GRAU: BACHAREL

ANO: 2021

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia permissão para reproduzir cópias desta Monografia de Graduação, única e exclusivamente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais de publicação. Nenhuma parte desta Monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.



Nome: Alexandre Augusto Fenelon Filho

CPF: 047.670.821-54

Endereço: Rua 29, N° 471 Setor Sul, Goianésia- GO

E-mail: alexandrefenelon@gmail.com

ALEXANDRE AUGUSTO FENELON FILHO

Sistema de captação e aproveitamento da água condensada gerada pelos aparelhos condicionadores de ar

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Goianésia, 28 de junho de 2021.

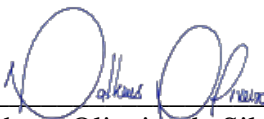
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Lauriane Gomes Santin - Orientadora
Faculdade Evangélica de Goianésia



Prof. Dr. Cleber Caetano Thomazi - Avaliador
Faculdade Evangélica de Goianésia



Prof. Dr. Matheus Oliveira da Silva - Avaliador
Faculdade Evangélica de Goianésia

Dedico esse trabalho a todos meus amigos e familiares, que no decorrer dessa jornada de graduação sempre me prestaram todo o apoio necessário.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, que sempre me deu saúde e forças para superar todos momentos de dificuldades.

Agradeço aos meus pais, por sempre estarem presentes, apoiar nas minhas decisões e a todo carinho e apoio dados a mim no decorrer desta etapa da minha formação.

Agradeço a minha orientadora Lauriane Gomes Santin, por todo apoio e paciência na elaboração do meu projeto de conclusão de curso e um profundo agradecimento a instituição Faculdade Evangélica de Goianésia.

Às amigas construídas durante esse período, pois eu jamais teria conseguido chegar até aqui sem o apoio deles.

RESUMO

A água é um recurso de vital importância, sendo imprescindível para a sobrevivência dos seres vivos. Devido à escassez desse recurso que já é problema em algumas regiões, práticas sustentáveis para o uso racional e reutilização da água vêm sendo executadas nos últimos anos. O objetivo desse trabalho é realizar um estudo sobre a água condensada gerada pelos condicionadores de ar e realizar propostas para captação e reutilização da mesma, de uma maneira sustentável e racional. Para isso, o trabalho teve como método um estudo de caso, realizando cálculos estimativos da vazão mássica de água condensada gerada por um aparelho da marca Komeco com capacidade de 9.000 Btu/h, em diferentes dias e horários. De acordo com os resultados é viável propor um sistema de captação da água, devido à grande quantidade de água condensada produzida pelos aparelhos condicionadores de ar, torna-se um projeto praticável tanto para escolas, faculdades, condomínios, edifícios comerciais, residenciais. Com a canalização dessa água é possível realizar o reaproveitamento de diversas maneiras, como: irrigação de jardins, lavagem de calçadas, janelas, carros.

Palavras-chaves: Água condensada. Condicionadores de ar. Reaproveitamento

ABSTRACT

Water is a vitally important resource, being essential for the areas of living beings. Due to the scarcity of this resource, which is already a problem in some regions, sustainable practices for the rational use and reuse of water supply have been implemented in recent years. The objective of this work is to carry out a study on the condensed water generated by the air conditioners and to make proposals for capturing and reusing it, in a sustainable and rational way. For that, the work had as a method a case study, making estimations calculations of the mass flow of condensed water generated by a Komeco device with a capacity of 9,000 Btu / h, in different days and times. According to the results, it is feasible to propose a water intake system, due to the large amount of condensed water existing by air conditioning devices, it becomes a feasible project for schools, colleges, condominiums, commercial and residential buildings. With the channeling of this water it is possible to carry out the reuse in several ways, such as: irrigating gardens, washing sidewalks, windows, cars.

Keywords: Condensed water. Air conditioners. Reuse

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Funcionamento de um aparelho de ar-condicionado. | 19 |
| Figura 2 - Interior do ar-condicionado tipo janela..... | 21 |
| Figura 3 – Ar-condicionado tipo janela (ACJ). | 21 |
| Figura 4 - Split Hi-Wall..... | 22 |
| Figura 5 - Split Piso teto..... | 23 |
| Figura 6 - Split Cassete..... | 24 |
| Figura 7 - Split dutado. | 25 |
| Figura 8 – Sistema Multi Split..... | 26 |
| Figura 9 - Sistema VRF. | 27 |
| Figura 10 - Ciclo de refrigeração por compressão de vapor..... | 29 |
| Figura 11 - Diagrama Psicrométrico. | 31 |
| Figura 12 - Bico de saída de aparelho do tipo janela..... | 32 |
| Figura 13 - Tubulação de dreno na parte da saída da lateral do aparelho. | 32 |
| Figura 14 - Guia de instalação do dreno de aparelhos do modelo split..... | 33 |
| Figura 15 – Testes. | 35 |
| Figura 16 - Dados processados no <i>Computer Aided Thermodynamic Tables 3</i> | 36 |
| Figura 17 – Esquema contendo sugestão para captação de água. | 41 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Dados Analisados | 38 |
| Tabela 2 - Dados analisados por dia..... | 39 |
| Tabela 3 - Volume de água drenada de Ar-Condicionado | 40 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACJ – Ar-condicionado janela

Btu – British Thermal Unit (Unidade térmica britânica)

dB – Decibel

wsat – Quilograma de água por quilograma de ar seco

VRF – Variable refrigerant flow (Volume de refrigerante variável)

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ – Densidade

T – Temperatura

U – Umidade

w – Umidade absoluta

φ – Umidade relativa

Q – Vazão

$\dot{m}_{\text{água}}$ – Vazão mássica da água

\dot{m}_{ar} – Vazão mássica do ar

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 | Objetivos Geral | 15 |
| 1.2 | Objetivos Específicos | 16 |
| 1.3 | Justificativa | 16 |
| 1.4 | Questão problema | 16 |
| 1.5 | Organização do texto | 16 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 18 |
| 2.1 | História | 18 |
| 2.2 | Definição do ar condicionado | 19 |
| 2.3 | Tipos de sistema de ar condicionado | 20 |
| 2.3.1 | Ar-condicionado tipo janela (ACJ) | 20 |
| 2.3.2 | Ar-condicionado do tipo Split | 22 |
| 2.3.3 | Sistema Multi Split | 26 |
| 2.3.4 | Sistema VRF | 26 |
| 2.4 | Fluidos refrigerantes | 27 |
| 2.5 | Condensadores e evaporadores | 28 |
| 2.5.1 | Condensadores | 28 |
| 2.5.2 | Evaporadores | 28 |
| 2.6 | Análise Termodinâmica de sistemas de ar condicionado | 29 |
| 2.6.1 | Ciclo de Compressão a Vapor | 29 |
| 2.6.2 | Carta psicrométrica | 30 |
| 2.7 | Sistema de drenagem | 31 |
| 2.7.1 | Tipos de sistemas de drenagem | 31 |
| 2.7.2 | Dreno do tipo de aparelho modelo janela | 31 |
| 2.7.3 | Dreno do tipo de aparelho modelo split | 32 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3 | METODOLOGIA | 34 |
| 3.1 | Análise dos dados..... | 35 |
| 4 | ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 38 |
| 4.1 | Proposta para um sistema de captação | 39 |
| 5 | CONCLUSÃO | 42 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 43 |
| | ANEXO A – Tabela A. 4 Propriedades Termofísicas de Gases de à Pressão Atmosférica, Temperatura | 46 |

1 INTRODUÇÃO

A água é de suma importância para todos os ecossistemas, é imprescindível para a vida tanto dos humanos quanto dos animais e plantas, porque sem ela não haveriam condições de vida. No entanto, devido ao uso massivo, à falta de tratamento adequado dos rejeitos de água para reuso e a falta de águas pluviais em várias regiões brasileiras, esse recurso está se tornando cada vez mais escasso (RIGOTTI, 2014).

A água está presente no nosso cotidiano. Ela está presente tanto na terra quanto no ar, muito utilizada na agricultura, nas indústrias, nas casas e nos edifícios e até mesmo no nosso próprio corpo. A vida flui através dela, então os seres vivos estão intrinsecamente relacionados à utilização água (PORTO-GONÇALVES, 2004).

Diversas questões estão relacionadas à preservação da água, entre elas está o aumento progressivo do fornecimento de água, devido ao aumento da demanda nos centros urbanos. Segundo Barros (2005) a água é vital para a nossa sobrevivência, mas isso só foi constatado quando o recurso veio a ficar escasso em regiões em que normalmente nunca haviam sentido a falta desse recurso.

Por essas razões existe a necessidade imediata do uso racional da água e de estudos para seu reaproveitamento. Nos últimos anos essa demanda vem crescendo significativamente, empresas e até mesmo pessoas que têm a preocupação com o meio ambiente tem procurado alternativas de reaproveitar a água.

Com a implementação de recursos para a reutilização da água será proporcionada uma redução relativa em seu consumo da água. Considerando que os aparelhos de condicionadores de ar geram uma quantidade relativa de água condensada que pode ser utilizada tanto para atividades de limpeza de calçadas, pisos, janelas, carros e para irrigação.

Desse modo, levando em consideração que existe um desperdício percentual de água, propõe que a canalização da água condensada dos condicionadores de ar esteja disponível quanto para o uso em escolas, faculdades, hospitais, prédios comerciais e residências entre outros.

1.1 Objetivos Geral

O objetivo geral desse trabalho é realizar um estudo sobre a água condensada gerada pelos condicionadores de ar e, por meio deste, propor a realização de um sistema que tem como propósito fazer a reutilização desta água.

1.2 Objetivos Específicos

- Estimar o volume de condensado para aparelhos de ar-condicionado.
- Elaborar uma proposta para a canalização e reaproveitamento da água condensada dos condicionadores de ar.
- Estimar a redução do gasto com água tratada a partir do reaproveitamento.

1.3 Justificativa

O desenvolvimento dessa pesquisa é de grande importância para a preservação do meio ambiente, a proposta consiste na reutilização da água, que vem ficando cada vez mais escassa e já em falta em algumas regiões. Em função disso, é relevante pensar em maneiras para o uso sustentável da água, como a elaboração de um sistema para a canalização da água condensada dos condicionadores e sucessivamente a reutilização para atividades de limpeza e/ou irrigação.

1.4 Questão problema

Diversas maneiras de reciclar a água estão surgindo, impulsionadas pela constante preocupação com o meio ambiente. Segundo Rigotti (2014) um climatizador do tipo Hi Wall de 12.000 Btu/h e vazão de 600 m³/h produz 1 litro para cada hora da máquina ligada. Levando em conta esses dados com um expediente de 8 horas por dia em um edifício comercial com 10 aparelhos pode-se dizer que em um dia ocorre o desperdício de 80 litros de água. A vista disso, surge a questão: um sistema para captação de água realmente é um meio eficaz e econômico?

1.5 Organização do texto

No primeiro capítulo encontra-se a introdução, onde é citado o objetivo geral, objetivos específicos, justificativa e problema de pesquisa.

No segundo capítulo destaca-se a revisão bibliográfica, com ênfase na história dos aparelhos condicionadores de ar, definição do ar-condicionado, tipos de sistemas de ar-condicionado, como: ar-condicionado tipo janela (ACJ), ar-condicionado do tipo split, sistema multi split, sistema VRF, fluidos refrigerantes, condensadores, evaporadores, análise termodinâmica de sistemas de ar-condicionado, carta psicrométrica, sistemas de drenagem, reaproveitamento da água condensada.

No terceiro capítulo encontra-se a metodologia, onde é explicado o tipo de trabalho e os métodos para realizar a pesquisa.

O quarto capítulo é referente à discussão por meio dos resultados obtidos, e uma proposta para captação da água condensada dos aparelhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 História

Em 1834, foi patenteada a primeira máquina de refrigeração de origem inglesa. Com um sistema de funcionamento semelhante ao das atuais máquinas de refrigeração mecânica. Já na etapa final do século XIX os equipamentos de refrigeração mecânica usados eram ineficientes, por ter grandes despesas e por requererem a assistência de um engenheiro para sua operação, ficando limitada a sua aplicação a indústrias de grande porte. Com a popularização da energia elétrica nas residências e o desenvolvimento dos motores elétricos a partir do ano de 1900, a refrigeração se tornou cada vez mais popular em todo o mundo (GONÇALVES, 2005).

A área de refrigeração cresceu de tal maneira no último século que acabou por ocupar os mais diversos campos. Os campos de refrigeração e ar-condicionado estão relacionados, embora cada um tenha uma área específica de atuação. Em termos de uso, os condicionadores de ar podem ser divididos em duas categorias: conforto e industriais (RODRIGUES, 2010).

Em 1902, segundo Antonovicz e Weber (2013) o engenheiro norte – americano Willys Carrier criou um processo mecânico para condicionar o ar, utilizados para controle de temperatura de ambientes. A ideia surgiu para resolver o problema de uma empresa de Nova York que devido ao clima quente na região juntamente com o ar úmido, fazia com que as impressões saíssem borradas e manchadas. Com isso surgiu o primeiro modelo de condicionador de ar, um equipamento que por meio dos dutos resfriava o ar de maneira artificial.

Com base nesse sistema desenvolvido, diversas empresas de variados campos adotaram esse esquema de circulação por dutos resfriados artificialmente. A invenção demorou a se popularizar, somente no ano de 1914, Carrier desenvolveu um dispositivo para o uso residencial, que diferente dos aparelhos de ar-condicionado que conhecemos hoje em dia, eram maiores e mais simples. Neste mesmo ano ele também desenhou o primeiro condicionador de ar hospitalar com o objetivo de aumentar a umidade do ar (ANTONOVICZ; WEBER, 2013).

A partir da década de 1920, os aparelhos de ar-condicionado foram se popularizando nos Estados Unidos, e começaram a ser instalados em locais públicos. O que foi de grande importância para a indústria cinematográfica, pois devida a alta temperatura das salas elas sempre ficavam vazias. Na década seguinte, Carrier desenvolveu um sistema de condicionadores de ar para edifícios arranha céu que contava com distribuição em alta velocidades através dos dutos e ocupava menos espaço em relação aos sistemas daquela época (ANTONOVICZ; WEBER, 2013).

Já em meados de 1950, o crescimento desse setor levou os aparelhos de condicionadores de ar residenciais a sua primeira produção em massa. Com resultado bem positivo, encerrando os estoques em apenas duas semanas. A partir da década de 1960, os aparelhos de ar-condicionado já eram conhecidos e como consequência, iniciou-se um mercado de extensão mundial, que até os dias de hoje vem se desenvolvendo tecnologicamente (ANTONOVICZ; WEBER, 2013).

2.2 Definição do ar-condicionado

Os condicionadores de ar são equipamentos projetados para climatizar o ar de um recinto; mantendo a temperatura e umidade do ar controladas, deixando o ambiente em temperaturas agradáveis e criando um conforto térmico tanto de aquecimento quanto de resfriamento (ARAÚJO, 2011).

Sendo instalados em janelas, paredes etc., com o intuito de fornecer o conforto térmico para ambientes fechados, é um aparelho que consiste em um sistema de refrigeração e desumidificação por meio da circulação e filtragem do ar, ainda podendo ser incluído renovação do ar e aquecimento (GONÇALVES, 2005).

Segundo Antonovicz e Weber (2013), o ar-condicionado é simplesmente uma geladeira sem o seu gabinete. Usa a evaporação do fluido refrigerante para fornecer refrigeração. Ambos aparelhos geladeira e ar-condicionado consistem no mesmo mecanismo de ciclo de refrigeração.

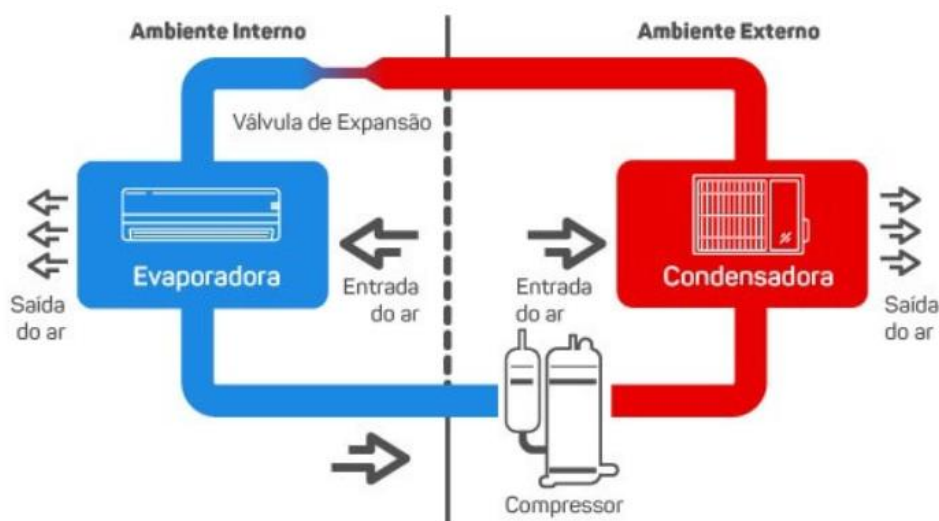


Figura 1 - Funcionamento de um aparelho de ar-condicionado.

Fonte: BLOG DUFRIIO (2017).

De acordo com a Figura 1, o compressor comprime gás frio, gerando gás quente de alta pressão (parte em vermelho na Figura 1). Este gás quente flui através de um trocador de calor, dissipa o calor e se condensa. Esse líquido escoar através da válvula de expansão e nesse processo ele se vaporiza para se tornar gás frio de baixa pressão (parte em azul na Figura 1). Este gás frio flui através do trocador de calor que permite ao gás absorver o calor e esfriar o ar de dentro do ambiente. Quando misturado com o fluido refrigerante, uma pequena quantidade de óleo com baixa densidade lubrifica o compressor nesse processo (ANTONOVICZ; WEBER, 2013).

2.3 Tipos de sistema de ar-condicionado

O tipo de ar-condicionado vai depender da sua necessidade. Os equipamentos podem ser de pequeno, médio ou grande porte e com diferentes capacidades. Quanto ao seu uso, eles podem ser classificados em residenciais, comerciais e industriais.

2.3.1 Ar-condicionado tipo janela (ACJ)

Esses aparelhos de ar-condicionado de modelo janela também são chamados de parede ou janeleiro. A capacidade desses produtos é baixa, podendo ser encontrados no mercado com a potência variando de 7.000 Btu/h até 30.000 Btu/h (ANTONOVICZ; WEBER, 2013).

Tem em si a necessidade de contato direto com o ar externo, visto que a rejeição do calor é realizada pelo condensador. Então o aparelho eventualmente necessita ser instalado em parede externa sem pilares, vigas, tubulações ou eletrodutos. Se necessário, a umidificação deve ser provida de um equipamento separado (OLIVEIRA; MARTINS, 2014).

Segundo Stoeker e Jones (1985), esse tipo de ar-condicionado é compacto pois os seus componentes fazem parte de um único equipamento, ilustrado na Figura 2. O som do funcionamento do equipamento pode ser ouvido no ambiente, pois os mecanismos que provocam ruídos não são isolados.

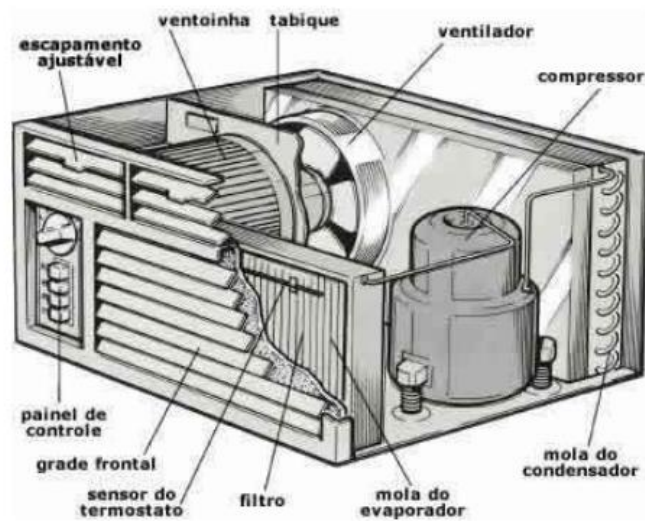


Figura 2 - Interior do ar-condicionado tipo janela.

Fonte: Soares (2014).

As vantagens do ar de janela comparado às outras séries de condicionadores de ar são que ele pode ser adquirido por um valor relativamente baixo em comparação aos outros, é mais compacto, pois a condensadora, o compressor e a evaporadora estão no mesmo gabinete e é fácil para instalar, conforme ilustrado na Figura 3. São adequados para ambientes pequenos ou para áreas aonde o nível do ruído não será um problema (ANTONOVICZ; WEBER, 2013).



Figura 3 – Ar-condicionado tipo janela (ACJ).

Fonte: Giacomini (2009).

2.3.2 Ar-condicionado do tipo Split

Split do inglês quer dizer “dividir”, o que significa que, ao contrário do modelo de ar-condicionado do tipo janela (ACJ) em que seus componentes fazem parte de um único equipamento, o ar-condicionado split é separado em duas partes, uma condensadora externa e uma evaporadora interna. Esse modelo se popularizou muito nos últimos anos, pelo fato da condensadora ser externa, assim o nível de ruído é menor na parte interna do ambiente.

Segundo Oliveira e Martins (2014), o sistema possui quatro tipos de evaporadores (Hi-Wall, Piso teto, Cassete e Dutado). Existem no mercado compressores de rotação fixa ou variável e condensadores de descarga vertical ou horizontal.

2.3.2.1 Hi- Wall

Dos modelos split o Hi-Wall é o mais comum (Figura 4), é instalado no alto da parede e são recomendados para pequenos estabelecimentos e residências. Hoje em dia eles podem ser encontrados com um design mais sofisticado e com evaporadoras menores, além de serem mais baratos para instalação (ANTONOVICZ; WEBER, 2013).



Figura 4 - Split Hi-Wall.

Fonte: Giacomini (2020).

De acordo com Oliveira e Martins (2014), os níveis de ruído do componente externo podem variar de 34,7 a 58 dB e a sua massa de 19 a 66 kg, dependendo de sua capacidade e modelo.

Com relação ao ar-condicionado tipo janela (ACJ), o Hi-Wall tem um maior custo de instalação, pois os furos devem ser feitos na parede para a passagem dos tubos, e a base também deve ser fixada na parede externa da casa onde ficará a condensadora. A distância do tubo entre a unidade interna e a unidade externa dependerá de cada fabricante. As capacidades desses equipamentos estão disponíveis entre 7.000, 7.500, 8.500, 9.000, 12.000, 18.000, 22.000 e 30.000 Btu/h (ANTONOVICZ; WEBER, 2013).

2.3.2.2 Piso teto

A característica principal desse modelo é que ele permite aproveitar ao máximo o espaço, pois tem um método de instalação bem versátil, podendo ser instalado no chão, na parede ou no teto, disponibilizando maior espaço para a passagem de pessoas ou objetos. A Figura 5 demonstra um modelo deste equipamento (OLIVEIRA; MARTINS, 2014).



Figura 5 - Split Piso teto.

Fonte: Soares (2014).

Sua instalação é adequada para ambientes de médio e grande porte, sejam eles residenciais ou comerciais. Por sua vazão ser maior que as dos aparelhos Hi-Wall, são indicados para ambiente com alta circulação e aglomeração de pessoas (ANTONOVICZ; WEBER, 2013).

Segundo Oliveira e Martins (2014), as capacidades desses equipamentos variam normalmente de 17.000 a 60.000 Btu/h, o nível de ruído do componente externo pode variar de 48 a 62 dB e a sua massa de 23 a 115 kg, dependendo de sua capacidade e modelo.

2.3.2.3 Cassete

O modelo cassete de ar-condicionado possui cerca de uma, duas ou quatro vias para saída do ar, pode ser instalado no forro ou no teto e tem uma melhor distribuição de ar no ambiente (OLIVEIRA E MARTINS, 2014).

A característica principal desse modelo é que ele fica embutido no teto, é possível controlar o fluxo de ar em cada aleta separadamente. O modelo é indicado para ambientes de médio porte tanto em residências quanto estabelecimentos comerciais e é demonstrado na Figura 6 (ANTONOVICS; WEBER, 2013).



Figura 6 - Split Cassete.

Fonte: Araujo (2011).

De acordo Oliveira e Martins (2014), a capacidade desses equipamentos varia normalmente de 17.000 a 60.000 Btu/h, pode ser encontrado com compressores de rotação fixa

ou variável, o nível de ruído do componente externo pode variar de 52 a 60 dB e a sua massa de 17 a 108 kg, dependendo de sua capacidade e modelo.

2.3.2.4 Dutado (Built in)

Este modelo de ar-condicionado é geralmente indicado para ambientes grandes como escritórios, salas comerciais, consultórios, casas de shows, shoppings entre outros, em lugares onde o ar precisa ser distribuído uniformemente, ou para vários ambientes que apresentam condições de conforto semelhantes simultaneamente (ANTONOVICS; WEBER, 2013).

Segundo Oliveira e Martins (2014), na sua instalação o entreforro precisa ter espaço liberado, variando das características e capacidades do fabricante da evaporadora. Este modelo permite a instalação em maleiros, consoles, armários, sancas de gesso entre outros. Este equipamento está ilustrado na Figura 7.



Figura 7 - Split dutado.

Fonte: Soares (2014).

A capacidade desses equipamentos varia normalmente de 18.000 a 60.000 Btu/h com compressor rotativo ou scroll, o seu peso pode variar de 25 a 89 kg, dependendo de sua capacidade e modelo (OLIVEIRA; MARTINS, 2014).

2.3.3 Sistema Multi Split

Este sistema é ideal para refrigerar diferentes ambientes ao mesmo tempo, é um modelo que consiste em, apenas uma unidade externa (condensadora) e pode ser conectada a múltiplas unidades externas (evaporadora). Em comparação com sistemas simples, a flexibilidade de instalação de unidades externas economiza espaço (OLIVEIRA; MARTINS, 2014).

De acordo com Oliveira e Martins (2014), esse tipo de sistema é adequado para residências ou para ambientes de médio porte, sua capacidade no mercado nacional é geralmente de 14.000 a 58.000 Btu/h, atendendo de duas a quatro evaporadoras do modelo Hi-Wall, piso teto, cassete ou dutada, e condensadores com descarga de ar horizontal ou vertical. A grande vantagem desse sistema de ar-condicionado é que todas as evaporadoras são independentes, possibilitando o controle individual da temperatura de cada ambiente sem interferir nas demais salas, conforme Figura 8.

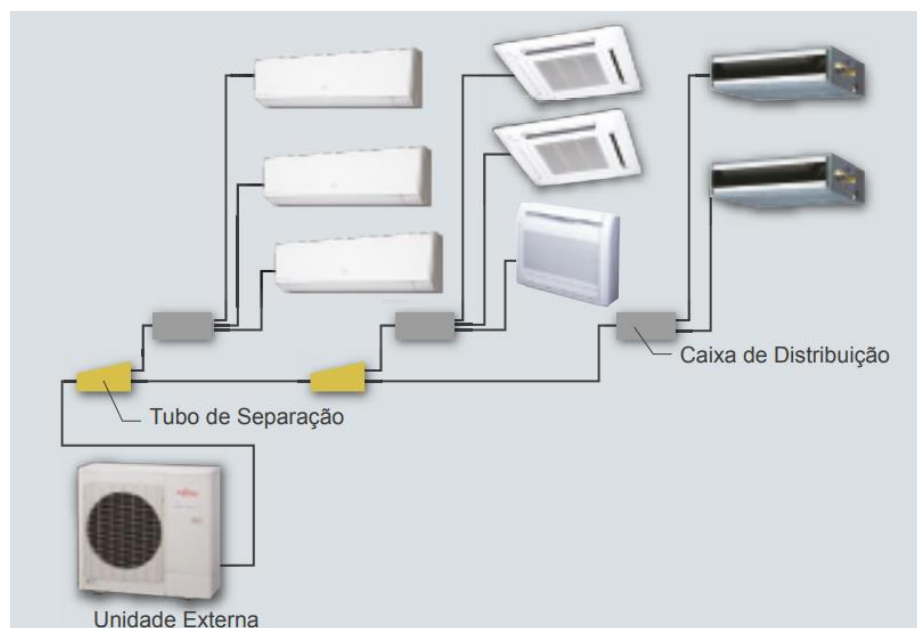


Figura 8 – Sistema Multi Split.

Fonte: Fujitsu (2021).

2.3.4 Sistema VRF

“O VRF é classificado como um sistema central em que o conjunto de unidades de tratamento do ar de expansão direta, geralmente instaladas dentro do ambiente a que servem (designadas unidades internas), cada uma operada e controlada independentemente das demais, é suprido em um fluido refrigerante líquido em vazão variável (VRF) por uma unidade condensadora central, instalada externamente (designada unidade externa).” (ABNT NBR 16401-1, 2008, p.03).

Pode-se comparar esse sistema com os modelos splits, ambos possuem evaporadora e condensadora e tem expansão direta. No entanto esses sistemas têm limitações bem diferentes. O modelo split trabalha de um para um, ou seja, uma condensadora para uma evaporadora, já o VRF pode conectar várias unidades do evaporador ao condensador (SOUZA, 2010).

A vantagem desse tipo de sistema, ilustrado na Figura 9, está na combinação de tecnologia eletrônica e sistema de controle de microprocessamento, além de interconectar várias unidades internas (Hi-Wall, piso teto, cassete e built in). É conhecido por seu funcionamento ecologicamente eficiente, baixo nível de ruído e baixo consumo de energia. O seu nível de ruídos das unidades externas pode variar de 51 a 67 dB. (OLIVEIRA; MARTINS, 2014).



Figura 9 - Sistema VRF.

Fonte: Northec Engenharia (2021).

2.4 Fluidos refrigerantes

A função de um fluido refrigerante é basicamente absorver calor, quando passa de seu estado líquido para vapor. É um processo usado na refrigeração que consiste em absorver calor de um espaço, assim, resfriando assim o ambiente. Quando se condensa, o fluido refrigerante libera calor, em um processo que ocorre à pressão e temperaturas altas. Esse processo absorve

o calor de um espaço e o libera em outra área, proporcionando assim o ciclo de refrigeração (MILLER; MILLER 2014).

Para o uso comercial, o fluido refrigerante tem algumas propriedades desejáveis, que são elas: ponto de ebulição baixo, atóxico, calor latente elevado, não ser afetado pela umidade, misturar-se bem com o óleo, não ser corrosivo para os metais, operar em pressões positivas e ser fácil de se liquefazer em pressões e temperaturas moderadas (MILLER, MILLER 2014).

De acordo com Miller e Miller (2014), a classificação dos fluidos refrigerantes é de acordo sua maneira de absorção ou extração do calor do espaço. Essas classes são divididas em classe 1, classe 2 e classe 3, que são definidas como:

Classe 1 - Esta classe abrange aqueles fluidos refrigerantes que resfriam pela absorção ou extração de calor das substâncias a serem refrigeradas por meio da absorção de seus calores latentes (MILLER; MILLER 2014, p.146).

Classe 2 – Nesta classe os fluidos refrigerantes resfriam por meio de absorção de calores sensíveis. São elas: álcool, ar, salmoura de cloreto de sódio, salmoura de cloreto de sódio (MILLER, MILLER 2014).

Classe 3 – Esta classe são a dos vapores absorvidos de agentes liquidificáveis. Têm a capacidade de carregar os vapores, produzem um efeito refrigerante devido a absorção de calores latentes (MILLER, MILLER 2014).

2.5 Condensadores e evaporadores

2.5.1 Condensadores

Segundo Stoeker e Jones (1985), os condensadores são classificados em resfriados a ar ou resfriados a água. São equipamentos que realizam a troca de calor entre um fluido frio e um fluido quente. O condensador tem o objetivo de esfriar e condensar o vapor superaquecido (RIGOTTI, 2014).

O Fluido é evaporado com o objetivo de retirar calor do ambiente, o fluido refrigerante no estado gasoso é condensado antes de regressar ao evaporador (MARTINELLI JÚNIOR, 2002).

2.5.2 Evaporadores

Nos evaporadores, o fluido refrigerante muda de sua fase líquida para gasosa e resfria o fluido da parte externa dos tubos. Esses evaporadores são conhecidos como evaporadores de

expansão direta. Existem também os resfriadores que resfriam o ar, e os resfriadores de líquido, esses tipos possuem aletas nos tubos para aumentar a condutância no lado do refrigerante (ALVAREZ, 2019)

2.6 Análise Termodinâmica de sistemas de ar-condicionado

2.6.1 Ciclo de Compressão a Vapor

Consiste basicamente em quatro componentes, sendo eles um compressor, um condensador, um dispositivo de expansão e um evaporador, ilustrados na Figura 10. Todos esses componentes são interligados, tendo a circulação de um fluido de trabalho que se transforma de gás para líquido e vice-versa (GONÇALVES, 2005).

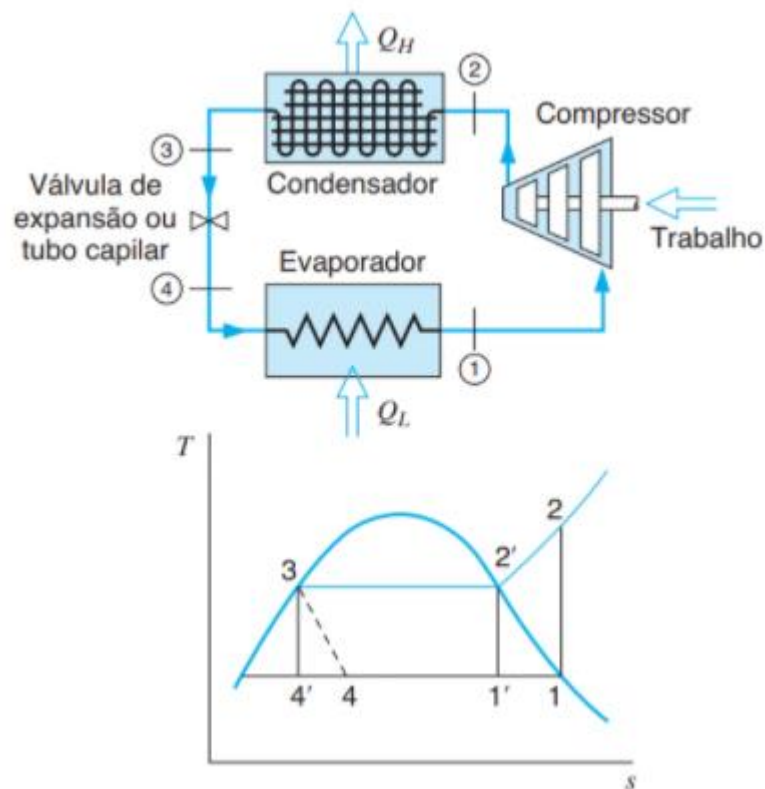


Figura 10 - Ciclo de refrigeração por compressão de vapor.

Fonte: Borgnakke e Sonntag (2018).

As etapas que ocorrem no ciclo de refrigeração da figura 10 são explicadas a seguir:

1-2: Compressão isentrópica do vapor

2-2': Retirada do calor no condensador

2'-3: Condensação isobárica de vapor no condensador

3-4: Expansão isentálpica e adiabática do líquido na válvula de expansão

4-1: Evaporação isobárica (líquido e vapor se transformam em vapor saturado)

No processo 1-2, de acordo com Borgnakke e Sonntag (2018), o vapor saturado de baixa pressão entra no compressor e sofre compressão adiabática reversível (não há troca de calor com o ambiente). A entropia do fluido permanece em estado constante.

Já no processo 2-3, o fluido de trabalho entra superaquecido e é resfriado até deixar o condensador no estado líquido saturado. No condensador a evolução é isobárica (pressão permanece constante) (BORGNAKKE; SONNTAG, 2018).

No processo de expansão 3-4, acontece uma transferência adiabática (e isentálpica). Parte do refrigerante é vaporizado absorvendo parte da massa líquida; na saída tem uma mistura bifásica (líquido e vapor) com temperaturas e pressões inferiores à de entrada (GONÇALVES, 2005).

No processo de vaporização 4-1, segundo Borgnakke e Sonntag (2018), o fluido é vaporizado à pressão constante. O refrigerante retira calor e evapora; essa passagem pelo evaporador é isobárica quando o líquido e o vapor se transformam em vapor saturado.

2.6.2 Carta psicrométrica

Segundo Sampaio (2013), a psicometria é uma área da ciência que visa o estudo das propriedades físicas e termodinâmicas da mistura entre gases e vapores. A carta psicrométrica é apresentada em forma gráfica de acordo com a Figura 11 e tem como função associar uma série de propriedades termodinâmicas. São utilizadas de forma prática para obter características do ar úmido e demonstrar suas variações. Em cada região pode haver variação devido à carta psicrométrica ser válida para uma determinada pressão. De acordo com Borgnakke e Sonntag (2018) são necessárias três propriedades como pressão, temperatura e a composição da mistura para a definição do estado.

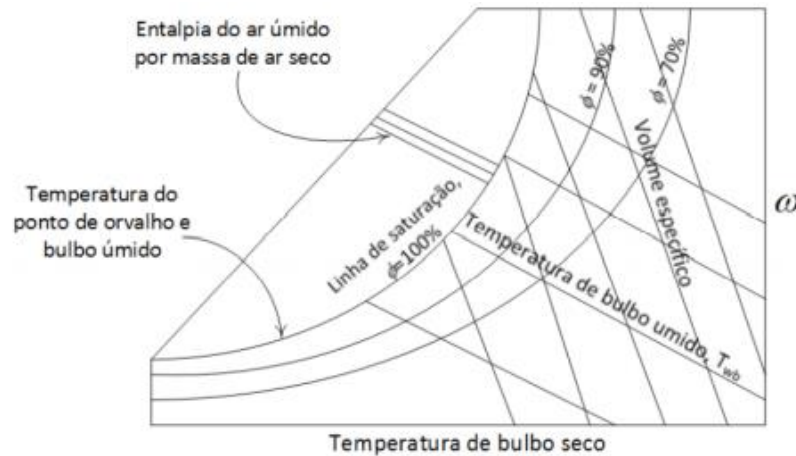


Figura 11 - Diagrama Psicrométrico.

Fonte: Alvares (2019).

2.7 Sistema de drenagem

Responsável por ejetar a água condensada gerada pelo aparelho condicionador de ar, o dreno retira a umidade, fazendo a transformação da matéria do estado gasoso para o líquido, ou seja, o processo de condensação. Geralmente é um cano no canto inferior do aparelho que pode ser conectado com demais aparelhos e direcionado para um ponto de coleta (CORREA, 2013).

2.7.1 Tipos de sistemas de drenagem

Os tipos mais comuns de dreno são dos aparelhos do tipo janela que contém um canal na parte externa, e dos aparelhos do tipo *split* onde o dreno sai da evaporadora e é conduzido ao ambiente externo (FORTES; JARDIM; FERNANDES, 2015).

2.7.2 Dreno do tipo de aparelho modelo janela

Segundo Correa (2020), esse tipo de aparelho do tipo janela tem um canal na sua parte externa onde é despejada a água condensada. Para que ocorra o desvio dessa água, a fim de evitar o seu gotejamento e desperdício, é necessário instalar um bico de drenagem conforme a Figura 12, assim, podendo realizar a instalação de uma mangueira redirecionando o fluxo da água (FORTES; JARDIM; FERNANDES, 2015).



Figura 12 - Bico de saída de aparelho do tipo janela.

Fonte: Fortes, Jardim, Fernandes (2015).

2.7.3 Dreno do tipo de aparelho modelo split

Para esse tipo de aparelho, a drenagem é feita por meio de dutos, onde o dreno, na parte interna do ambiente (evaporadora), direciona a água condensada para a parte externa do ambiente. Observa-se na Figura 13 que a tubulação do dreno na evaporadora fica do lado direito diferenciando-se das demais, enquanto na parte lateral traseira fica a saída da tubulação do dreno (FORTES; JARDIM; FERNANDES, 2015).

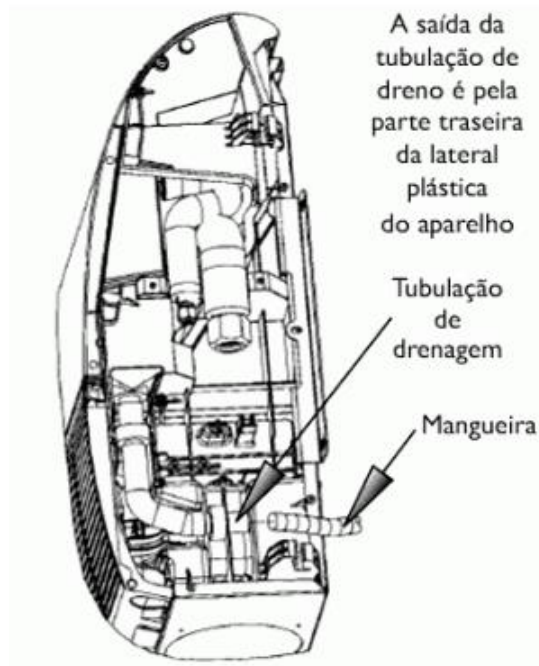


Figura 13 - Tubulação de dreno na parte da saída da lateral do aparelho.

Fonte: Faz Fácil (2014).

A fim de que a água não tenha problemas para escoar, já que a gravidade é responsável por seu escoamento, a Figura 14 faz uma demonstração da maneira correta de instalação da tubulação.

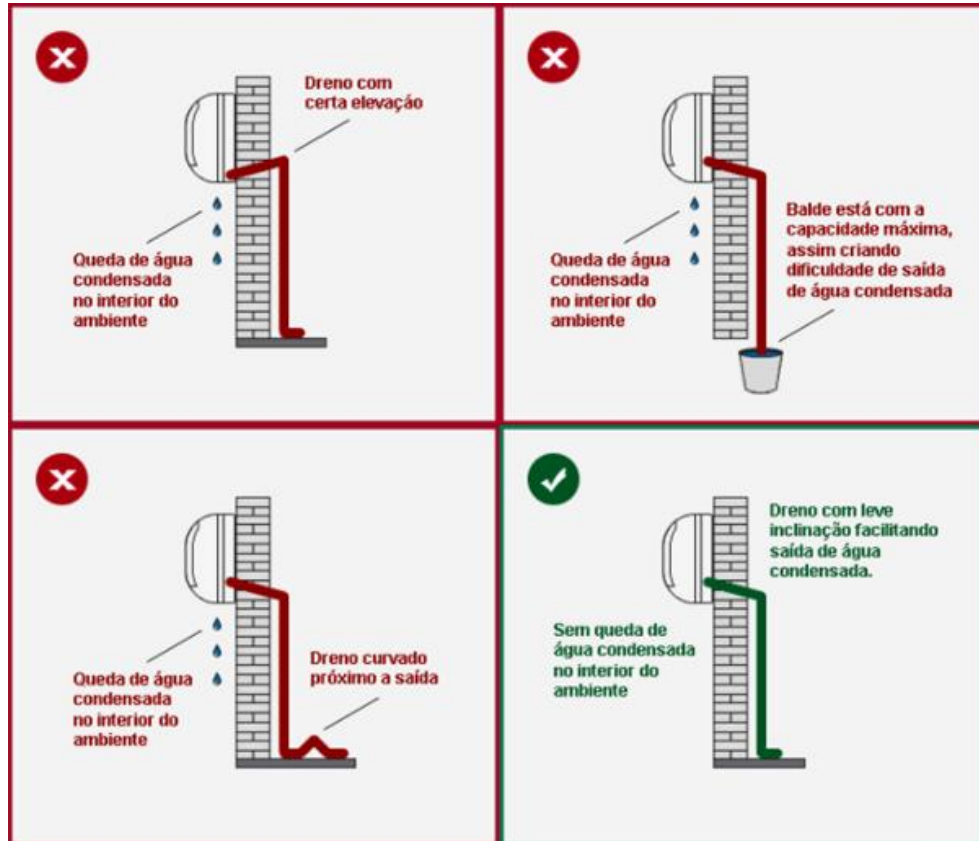


Figura 14 - Guia de instalação do dreno de aparelhos do modelo split.

Fonte: Correa (2020).

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foi utilizada a metodologia de Estudo de Caso. A escolha se deve ao fato deste método de estudo ser aplicado a um contexto atual, possibilitando amplo e detalhado conhecimento sobre o fenômeno, sendo capaz, inclusive, de gerar teoria (MIGUEL, 2007). É, na verdade, uma espécie de histórico do fenômeno, extraído de múltiplas fontes e evidências onde qualquer fato relevante à corrente de eventos que descrevem o fenômeno é um dado potencial para o estudo de caso, pois o contexto é importante (LEONARD-BARTON *et al.*, 1990).

Esta pesquisa consiste em um estudo realizado por meios de cálculos para estimar a quantidade de água condensada produzida pelos aparelhos condicionadores de ar.

Para a realizar a coleta dos dados e realizar os cálculos foi utilizado um termo-higrômetro que mede a umidade (U) e temperatura (T) da sala, dois termômetros para medir as temperaturas de entrada e saída da evaporadora e a vazão do aparelho condicionador de ar de acordo com o fabricante.

Para esta análise, foi utilizado o *software* de termodinâmica *Computer Aided Thermodynamic Tables 3*, com o objetivo de gerar um gráfico da carta psicrométrica do ar para comprovar que ocorre a condensação da água e especificar a quantidade de água condensada pelo aparelho de ar-condicionado da marca Komeco com capacidade de 9.000 Btu/h e vazão de 520 m³/h.

Foram propostas alternativas de reutilização da água condensada em aparelhos de ar-condicionado a fim de evitar o desperdício e gerar uma utilização sustentável desse recurso.

Para realizar as medições e estimar a vazão de água condensada os testes foram realizados em um quarto de 11,45 m² com janela exposta para o sol posicionada ao sul.

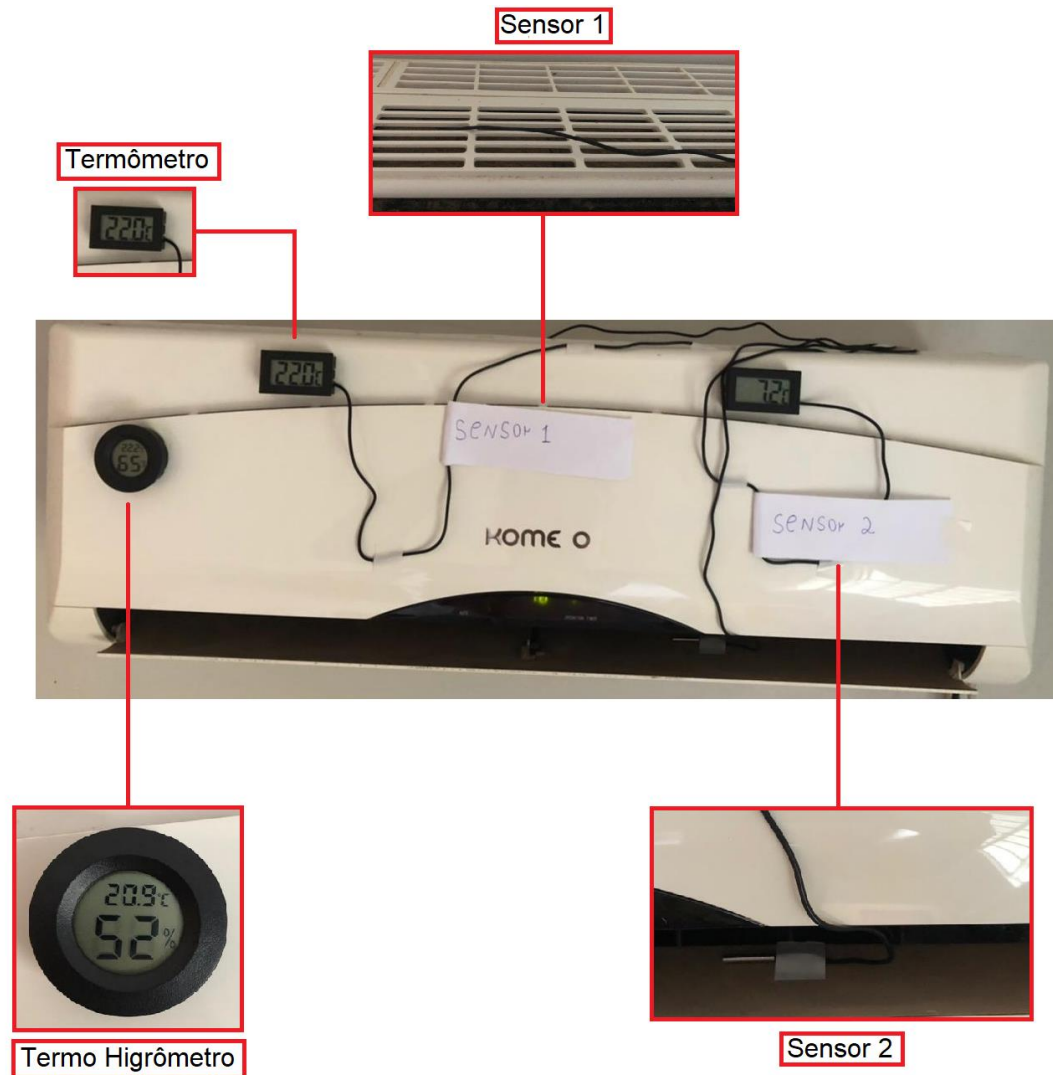


Figura 15 – Testes.

Fonte: O próprio autor.

3.1 Análise dos dados

Para realização da análise, os instrumentos (ou sensores) foram montados no aparelho condicionador de ar para obter os dados. Com finalidade de validar essa análise, foram utilizadas ferramentas como a carta psicrométrica e o programa de termodinâmica *Computer Aided Thermodynamic Tables 3*. As medidas foram realizadas em três dias distintos, em quatro horários diferentes para cada dia. Foi realizada a análise da temperatura de entrada da evaporadora (Sensor 01 – Figura 15), e sua umidade relativa na entrada da evaporadora (Termo Higrômetro – Figura 15), onde o valor está presente na carta psicrométrica. Sequencialmente foi realizada a análise da temperatura de saída da evaporadora (Sensor 02 – Figura 15), onde o valor está presente na carta psicrométrica.

Embora seja possível realizar a análise utilizando a carta psicrométrica, ela requer tempo e interpolações visuais, assim causando imprecisão nos dados. Portanto, limita a obtenção das propriedades nos pontos de estado do intervalo, já que apresenta uma escala fixa para as temperaturas (CASTRO; CHAVES, 2003).

Para obter essas propriedades, foi utilizado o *software Computer Aided Thermodynamic Tables 3* para gerar o gráfico da carta psicrométrica do ar com variação de intervalos de temperatura, permitindo a obtenção dos valores exatos das propriedades psicrométricas do ar (Figura 16).

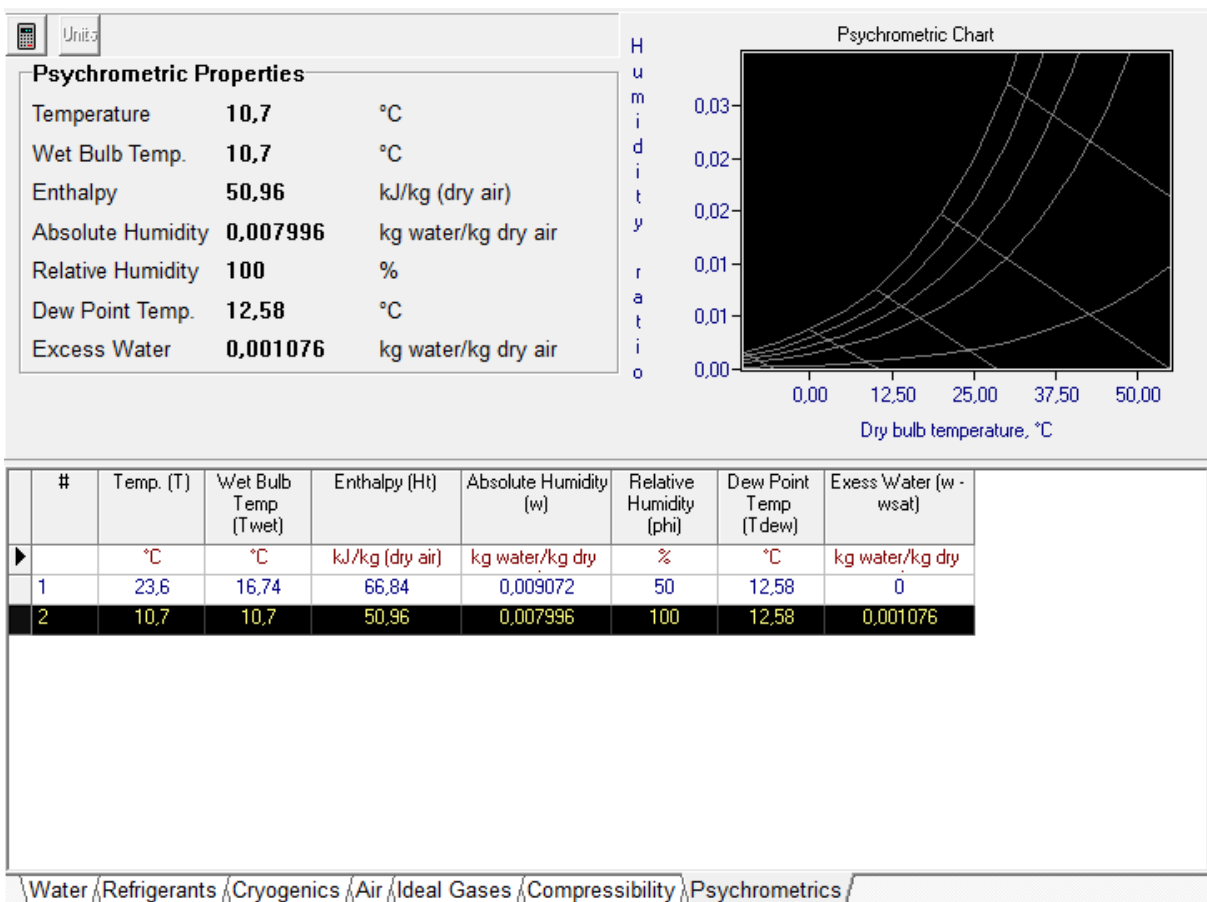


Figura 16 - Dados processados no *Computer Aided Thermodynamic Tables 3*.

Fonte: O próprio autor.

Com o *software Computer Aided Thermodynamic 3*, foi selecionada a opção de temperatura (T) e umidade relativa (ϕ). Foram então inseridos os valores de temperatura na entrada da unidade evaporadora (Sensor 1) e a umidade relativa coletada pelo termo-higrômetro. Selecionou-se, então, a opção de temperatura (T) e umidade absoluta (w) e foi inserido o valor de temperatura na saída da unidade evaporadora (Sensor 2). Depois disso, coletou-se o valor da taxa de condensação fornecido pelo software e foi identificada a vazão do

aparelho condicionador de ar do tipo split Hi-Wall com capacidade de 9.000 Btu/h como sendo $Q = 520 \text{ m}^3/\text{h}$.

Também se analisou a temperatura da saída da evaporadora (Sensor 2) em °C e converteu-se para K (Kelvin). Em seguida, foi verificada a densidade (ρ) do ar para a temperatura requerida de acordo com o Anexo A e realizaram-se as interpolações necessárias para se chegar nos valores aproximados.

Realizou-se, então, o cálculo da vazão mássica do ar (\dot{m}_{ar}), conforme a Equação 1.

$$\dot{m}_{\text{ar}} = Q [\text{Vazão de Ar do Evaporador}] \cdot \rho [\text{Densidade Relativa do Ar}] \quad (1)$$

Com o valor da vazão mássica do ar calculado, procedeu-se com o cálculo da vazão mássica da água ($\dot{m}_{\text{água}}$), conforme Equação 2 e tabulou-se os valores obtidos na Tabela 2.

$$\dot{m}_{\text{água}} = \dot{m}_{\text{ar}} \cdot (w - w_{\text{sat}}) \quad (2)$$

O erro relativo percentual foi calculado pela seguinte expressão:

$$ER = \frac{x_0 - x}{x} \cdot 100 \quad (3)$$

onde,

$x_0 = \text{Valor calculado}$

$x = \text{Valor coletado}$

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os dados de temperatura ambiente da sala, temperatura de entrada na unidade evaporadora, umidade relativa da sala, temperatura de saída na unidade evaporadora, quantidade de água condensada produzida e a taxa de condensação, estão mencionados da Tabela 1. Estes valores foram coletados de acordo com os aparelhos citados previamente (termômetro e termo-higrômetro), onde os sensores foram posicionados no aparelho de ar-condicionado para realizar a coleta dos dados, à água condensada produzida foi coletada na pratica ou seja é o valor real produzido e a taxa de condensação foi encontrada através do software de termodinâmica.

Tabela 1 - Dados Analisados

| Marca: Komeco Capacidade: 9.000 Btu/h Vazão: 520 m ³ /h | | | | | | | |
|--|---------|---------------|-------------------------|---------------|-------------------------|------------------------|--|
| Dias | Horário | Temp. Sala °C | Temp. Ent sensor 1 / °C | Umidade Ent % | Temp. Saída °C Sensor 2 | Água produzida (litro) | Taxa de cond. (kg de água / kg de ar seco) |
| Dia 1 | 14:00 | 23,2 | 24,6 | 52 | 10,9 | 0,65 | 0,001537 |
| | 15:00 | 22,8 | 23,6 | 50 | 10,7 | 0,65 | 0,001076 |
| | 16:00 | 22,6 | 24,0 | 51 | 10,7 | 0,65 | 0,001489 |
| | 17:00 | 22,9 | 24,1 | 49 | 10,3 | 0,65 | 0,001381 |
| Dia 2 | 14:00 | 23,8 | 19,0 | 47 | 4,8 | 0,55 | 0,001081 |
| | 15:00 | 24,0 | 19,9 | 46 | 6,0 | 0,55 | 0,000840 |
| | 16:00 | 23,6 | 19,3 | 47 | 5,1 | 0,55 | 0,001089 |
| | 17:00 | 24,2 | 20,3 | 45 | 6,4 | 0,55 | 0,000695 |
| Dia 3 | 14:00 | 24,0 | 19,5 | 46 | 5,9 | 0,55 | 0,000716 |
| | 15:00 | 23,7 | 20,1 | 47 | 6,3 | 0,55 | 0,000948 |
| | 16:00 | 24,2 | 19,9 | 46 | 6,1 | 0,55 | 0,000799 |
| | 17:00 | 23,9 | 20,4 | 47 | 6,0 | 0,55 | 0,001201 |

Fonte: O próprio autor.

Com os resultados obtidos da Tabela 1, foi realizado os cálculos mencionados na metodologia para encontrar os resultados da vazão mássica da água condensada produzida, sequencialmente com os resultados da vazão mássica da água e os valores reais da água produzida por litro foram realizados os cálculos para encontrar os valores do erro relativo. Onde esses valores estão mencionados na Tabela 2, que, são eles: Vazão mássica calculada

encontrada através dos cálculos, coleta na pratica encontrada através do valor real produzido pelo aparelho de ar-condicionado e erro encontrado através dos cálculos do erro relativo.

Tabela 2 - Dados analisados por dia

| Água condensada coletada | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|----------|-------------------------|-----------------------|------|-------------------------|-----------------------|----------|
| | Dia 1 | | | Dia 2 | | | Dia 3 | | |
| Horário de coleta | Vazão mássica calculada | Coleta na prática (L) | Erro (%) | Vazão mássica calculada | Coleta na pratica (L) | Erro | Vazão mássica calculada | Coleta na prática (L) | Erro (%) |
| 14:00 | 0,550 | 0,65 | 15,4 | 0,710 | 0,55 | 29,0 | 0,468 | 0,55 | 14,9 |
| 15:00 | 0,605 | 0,65 | 6,9 | 0,549 | 0,55 | 0,2 | 0,623 | 0,55 | 13,3 |
| 16:00 | 0,522 | 0,65 | 19,7 | 0,714 | 0,55 | 29,8 | 0,523 | 0,55 | 4,9 |
| 17:00 | 0,537 | 0,65 | 17,4 | 0,453 | 0,55 | 17,6 | 0,785 | 0,55 | 42,7 |
| Soma | 2,210 | 2,20 | | 2,426 | 2,20 | | 2,399 | 2,20 | |

Fonte: O próprio autor.

Estas diferenças entre os valores calculados e os valores coletados na prática podem ser justificadas devido a coleta com equipamentos de medição não tão eficazes.

4.1 Proposta para um sistema de captação

De acordo com os resultados obtidos, é viável utilizar um meio para captação da água condensada dos aparelhos condicionadores de ar tanto para casas, hospitais, escolas, faculdades, hotéis e prédios, levando em consideração que o projeto apresenta um custo baixo e que a reutilização da água é uma prática sustentável.

Os aparelhos condicionadores de ar podem somar vários litros de água dependendo da quantidade de horas que ficam ligados durante o dia, de acordo com os resultados para um aparelho de 9,000 Btu/h é gerado 0,55 ml de água condensada por hora. Essa água gerada é inviável para o consumo por conter impurezas e, por essa razão, a sua utilização é útil para limpeza de pisos, janelas, carros, irrigação de plantas.

Vale ressaltar que tanto a unidade evaporadora, que fica na parte interna do ambiente, quanto a unidade condensadora na parte externa são responsáveis por mudar o estado do fluido refrigerante de gasoso para líquido, gerando água no ciclo de refrigeração e no ciclo de aquecimento.

A implementação desse projeto pode ser feita com tubos de PVC para canalizar toda a água. Sua aplicação em edifícios modernos é facilitada, uma vez que essas construções geralmente já possuem essas tubulações de PVC interligando os aparelhos condicionadores de

ar, permitindo coletar a água condensada. Porém, essa água é descartada. Visando a economia e a sustentabilidade, é viável redirecionar essa água à um reservatório, para que, sequencialmente, seja feita sua reutilização. Já em casas, a água pode ser armazenada em baldes.

Em uma grande empresa, em que varias salas utilizam aparelhos de ar-condicionado oito horas por dia, a produção de água desses equipamentos pode chegar a valores consideráveis. De acordo com os resultados, pode-se fazer uma estimativa da quantidade de água desperdiçada em um mês por uma grande empresa. Se, por exemplo, dez aparelhos de ar-condicionado de, 9000 Btu's, funcionam em determinada empresa, cinco dias por semana, tem-se uma quantidade de água condensada equivalente à quantidade de água gasta, em média, em 67 acionamentos de descargas convencionais, visto que um acionamento de 6 segundos gasta em torno de 12 litros de água (SABESP, 2021). Essa análise está descrita na Tabela 3.

Tabela 3 - Volume de água drenada de ar-condicionado

| Água de drenagem de Ar-Condicionado | | | | |
|---|-----------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Quantidade de aparelhos condicionadores de ar | Volume por hora | Volume em 8 horas (1 dia) | Volume em 1 semana (5 dias) | Volume em 1 mês (20 dias) |
| 1 | 0,5 litros | 4,0 litros | 20,0 litros | 80,0 litros |
| 10 | 5,0 litros | 40,0 litros | 200,0 litros | 800,0 litros |

Fonte: Próspero (2015).

Estes resultados mostram que a iniciativa de captação da água condensada por aparelhos de ar-condicionado pode oferecer significativa economia desse recurso, promovendo uma alternativa sustentável caso esta água residual seja reutilizada.

O projeto também é viável para ser implementado em casas: levando em conta 2 aparelhos condicionadores de ar com capacidade de 9000 Btu's interligados funcionando quatro horas por dia, de acordo com os resultados obtidos, geram em média 4,4 litros de água condensada por dia. Assim, pode-se evitar o desperdício e reciclar a água a qual poderia, por exemplo, ser utilizada na irrigação de um jardim. Na Figura 17 é apresentada uma proposta de um projeto para canalização da água realizada com tubulações de PVC, afim de não ter

problemas com o escoamento, existe a necessidade de uma inclinação na tubulação como representado no desenho e como demonstrado na Figura 14.

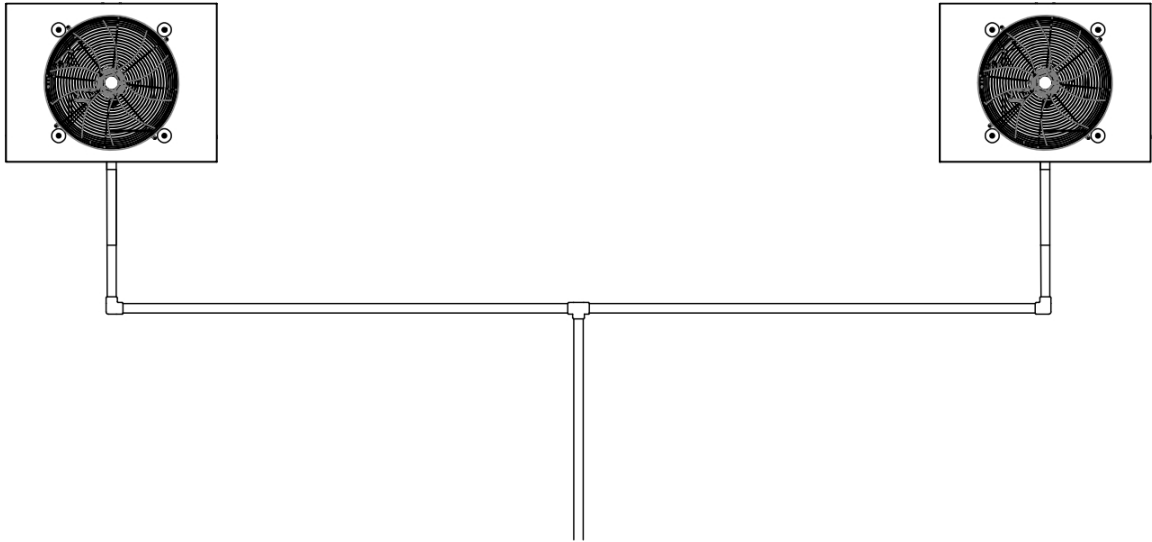


Figura 17 – Esquema contendo sugestão para captação de água.

Fonte: O próprio autor.

5 CONCLUSÃO

O propósito do trabalho foi realizar uma análise sobre a média de produção de água condensada gerada pelos aparelhos condicionadores de ar e propor o desenvolvimento de um sistema para a captação dessa água para que sequencialmente seja reaproveitada de uma maneira sustentável. Essas medidas se tornam importantes para preservação do meio ambiente, já que são medidas sustentáveis e tem como propósito à preservação do ecossistema.

Em suma, por meio dos resultados alcançados, foi confirmada a hipótese de que é viável o desenvolvimento de um sistema de captação de água para aparelhos condicionadores de ar para locais como escolas, faculdades, edifícios, condomínios e até mesmo em residências, devido esses equipamentos produzirem uma grande quantidade de água em relação ao tempo de uso.

Ao final do estudo, foi apresentada uma proposta de baixo custo como forma para captar a água condensada gerada pelos aparelhos condicionares de ar por meio de tubulações de PVC. A água coletada poderia ser usada para irrigação, lavagem de calçadas, janelas, carros, etc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, Mario Eusebio Torres. **Refrigeração, Ar Condicionado e Ventilação**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019.

ANTONOVICZ, Diego; WEBER, Rhuann Georgio Bueno. **PMOC - Plano de Manutenção Operação e controle-nos condicionadores de ar do Câmpus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. TCC – Curso de graduação de Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1380/1/MD_COMIN_2012_2_10.pdf>

ARAUJO, Eliete de Pinho Araujo. **Apostila de ar condicionado e exaustão**. Faculdade de tecnologia de ciências sociais aplicadas. Brasília, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 164001-1: **Instalação de ar-condicionado sistemas centrais e unitários**. Rio de Janeiro. 2008.

BARROS, Wellington Pacheco. **A água na visão do direito**. Porto Alegre: Tribunal de justiça do Rio grande do Sul- Departamento de Artes Gráficas, 2005.

BLOG DUFRIO. **Confira os benefícios de ter um ambiente climatizado**. Vila Velha, 05 de jul. de 2017. Disponível em: <<https://www.dufrio.com.br/blog/ar-condicionado/comercial/beneficios-de-ter-um-ambiente-climatizado/>> Acesso em: 12 de dez. de 2020.

BORGNAKKE, Claus; SONNTAG, Richard E.. **Fundamentos da Termodinâmica**. 2. ed. [S.l.]: Blucher, 2018.

CASTRO, Sérgio de Souza; CHAVES, Modesto, Antônio. **Software gráfico e analítico para a carta psicrométrica do ar**. Revista Brasileira de Agroinformática, 2003. Disponível em: <<https://silo.tips/download/sergio-de-souza-castro-1-modesto-antonio-chaves-2>>

CORREA, Yuri. Dreno do ar condicionado: O que é? Quais problemas pode ter? **Web ar condicionado**, 08 de nov. 2020. Disponível em: <<https://www.webarcondicionado.com.br/dreno-ar-condicionado>>

FAZ FACÍL. **Drenagem do Ar Condicionado Split**. 03 de nov. 2014. Disponível em: <<https://www.fazfacil.com.br/manutencao/condicionado-split-drenagem/>> Acesso em: 15 de abr. de 2021.

FORTES, Pedro D.; JARDIM, Patrick W. Cotrim F.M.G.; FERNANDES, Juliana, G.; **Aproveitamento de água proveniente de aparelhos de ar-condicionado**. Simpósio de excelência em gestão e tecnologia. Resende, RJ, 2015.

FUJITSU. **Sistema Multiflexível Inverter**. Aplicação em Residências e Pequenos Escritórios. Disponível em: <<https://www.fujitsu-general.com/shared/br/pdf-fcbr-ctlg-2019-sistema-multiflex%C3%ADvel-inverter-03.pdf>> Acesso em: 15 de fev. de 2021.

GIACOMINI, Gabriela. **Ar-Condicionado Janela: O que é, Vantagens e Preços**. Web ar condicionado, 26 de nov. 2009. Disponível em: <<https://www.webarcondicionado.com.br/ar-condicionado-tipo-janela>> Acesso em: 26 de maio. de 2021.

_____. **Ar-Condicionado Split Hi Wall: O que Significa, Como Funciona e Características**. Web ar condicionado, 10 de jan. 2020. Disponível em: <<https://www.webarcondicionado.com.br/split-hi-wall>> Acesso em: 26 de maio. de 2021.

GONÇALVES, Luciene Pavanello. **Condicionamento de ar e sua evolução tecnológica**. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2005.

MARTINELLI JÚNIOR, Luiz Carlos. **Refrigeração**. Universidade Estadual Do Rio Grande do Sul. Panambi, 2002.

LEONARD-BARTON, Dorothy et al. A Dual Methodology for Case Studies: synergistic use of a longitudinal single site with replicated multiple sites. **Organization Science**, [S.L.], v. 1, n. 3, p. 248-266, ago. 1990. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS). <http://dx.doi.org/10.1287/orsc.1.3.248>.

MACHADO. **Recursos hídricos e cidadania no Brasil: limites, alternativas e desafios**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 216-229, abr. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132007000100015>.

MILLER, Rex; MILLER, R. Mark **Ar-Condicionado e Refrigeração, 2ª edição**. [Rio de Janeiro]: Grupo GEN, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2612-1/>.

NORTHEC ENGENHARIA. **VRF: O que é? Como funciona?** Brasília. Disponível em: <<https://northeccom.br/vrf-o-que-e-como-funciona/>> Acesso em: 18 de mar. de 2021.

OLIVEIRA, Danilo Felipe; MARTINS, Juliana Có. **Metodologia para análise de escolha de sistemas de condicionamento de ar**. TCC – Curso de graduação de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo. 2014. Disponível em: <https://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2014-1_danilo_e_juliana-1.pdf>

PORTO-GONÇALVES, C. **Os porquês da desordem mundial: o desafio ambiental**. Rio de Janeiro: Ed. Record, 2004

RIGOTTI, Pedro Antonio Cardias. **Projeto de aproveitamento de água condensada de sistemas condicionadores de ar**. Trabalho de conclusão de curso – Panambi. Monografia (Graduação em engenharia mecânica). Universidade regional do nordeste do estado do Rio Grande do Sul, 2014. Disponível em:

<<https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/2513/TCC%20PE DRO%20P%C3%93S%20BANCA%20%281%29.pdf?sequence=1>>

RODRIGUES, Zélia Medeiros. **O Planejamento Estratégico como Indicador da Controladoria Aplicado à Gestão de uma Microempresa do ramo de ar-condicionado.** Trabalho de conclusão de curso – Fortaleza. Monografia (Graduação em ciências contábeis). Faculdade Lourenço Filho, 2010.

SABESP. **Dicas e testes.** Ao dar descarga. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=184>> Acesso em: 10 de jun. de 2021.

SAMPAIO, Franco Serighelli. **Torre de resfriamento: modelagem, simulação e testes experimentais para apoio ao ensino de engenharia mecânica.** Trabalho de conclusão de curso – Monografia (Graduação em engenharia mecânica). Universidade de Brasília, 2013.

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

SOUZA, W. B., 2010, **Comparação entre dois sistemas de ar condicionado para prédio histórico,** Trabalho de Conclusão de Curso, UFRGS, Porto Alegre - RS.

STOECKER, Wilbert.; JONES, Jerold W. **Refrigeração e Ar Condicionado.** São Paulo: .McGraw-Hill do Brasil, 1985.

ANEXO A – Tabela A. 4 Propriedades Termofísicas de Gases de à Pressão Atmosférica, Temperatura

TABELA A.4 Propriedades Termofísicas de Gases à Pressão Atmosférica^a

| T (K) | ρ (kg/m ³) | c_p (kJ/(kg · K)) | $\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²) | $\nu \cdot 10^6$ (m ² /s) | $k \cdot 10^3$ (W/(m · K)) | $\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s) | Pr |
|--|-----------------------------|---------------------|--|--------------------------------------|----------------------------|---|-------|
| Ar, $\Delta C = 28,97$ kg/kmol | | | | | | | |
| 100 | 3,5562 | 1,032 | 71,1 | 2,00 | 9,34 | 2,54 | 0,786 |
| 150 | 2,3364 | 1,012 | 103,4 | 4,426 | 13,8 | 5,84 | 0,758 |
| 200 | 1,7458 | 1,007 | 132,5 | 7,590 | 18,1 | 10,3 | 0,737 |
| 250 | 1,3947 | 1,006 | 159,6 | 11,44 | 22,3 | 15,9 | 0,720 |
| 300 | 1,1614 | 1,007 | 184,6 | 15,89 | 26,3 | 22,5 | 0,707 |
| 350 | 0,9950 | 1,009 | 208,2 | 20,92 | 30,0 | 29,9 | 0,700 |
| 400 | 0,8711 | 1,014 | 230,1 | 26,41 | 33,8 | 38,3 | 0,690 |
| 450 | 0,7740 | 1,021 | 250,7 | 32,39 | 37,3 | 47,2 | 0,686 |
| 500 | 0,6964 | 1,030 | 270,1 | 38,79 | 40,7 | 56,7 | 0,684 |
| 550 | 0,6329 | 1,040 | 288,4 | 45,57 | 43,9 | 66,7 | 0,683 |
| 600 | 0,5804 | 1,051 | 305,8 | 52,69 | 46,9 | 76,9 | 0,685 |
| 650 | 0,5356 | 1,063 | 322,5 | 60,21 | 49,7 | 87,3 | 0,690 |
| 700 | 0,4975 | 1,075 | 338,8 | 68,10 | 52,4 | 98,0 | 0,695 |
| 750 | 0,4643 | 1,087 | 354,6 | 76,37 | 54,9 | 109 | 0,702 |

Fonte: Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa