



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**ISMAEL BARBOSA DE SOUSA**

**SAMUEL PEREIRA FREGULIA**

**METODOLOGIA PARA AFERIÇÃO E VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO COM CONTROLE  
ENTÁLPICO**

Palhoça

2022

**ISMAEL BARBOSA DE SOUSA  
SAMUEL PEREIRA FREGULIA**

**METODOLOGIA PARA AFERIÇÃO E VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO COM CONTROLE  
ENTÁLPICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Francielli Scarpini Barbosa Cordeiro, Ma. Eng.

Palhoça

2022

**ISMAEL BARBOSA DE SOUSA  
SAMUEL PEREIRA FREGULIA**

**METODOLOGIA PARA AFERIÇÃO E VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO COM CONTROLE  
ENTÁLPICO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 22 de junho de 2022.

---

Professora e orientadora Prof<sup>a</sup>. Francielli Scarpini Barbosa Cordeiro, Ma. Eng.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Prof. Fabiano Max da Costa, Esp. Eng.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Prof. Mauricio Nath Lopes, Dr. Eng.

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, a minha família e ao meu colega, que foram as pessoas que nos ajudaram até o final.

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente, agradecemos ao nosso senhor Deus, por nos levar na fé durante nossa jornada de vida. Agradecemos a ele, por nos dar forças e nos conduzir no caminho correto, muitas vezes árduo, no entanto gratificante.

Deixamos aqui nossos sinceros agradecimentos aos professores, Djan de Almeida do Rosário pela disponibilidade na orientação inicial e a Francielli Scarpini Barbosa Cordeiro pela cordialidade em aceitar fazer parte e implementar a segunda parte desta orientação, sendo eles primordiais para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso e para o alcance de nossos objetivos acadêmicos.

Ismael.

Agradeço a toda minha família, em especial a minha esposa Laudicéia Nilza Nau e meus filhos Rafael e Lucas, pela paciência e dedicação empregada nesta jornada. E em memória póstuma a minha Avó Matriarca (Joana dos Santos Barbosa), que em parte de sua vida na terra dedicou alguns anos a me ensinar e moldou parte de minha personalidade, julgando o que seria correto para mim.

Samuel.

Agradeço a toda minha família, principalmente a minha esposa Suzani Pereira Raupp, que sempre esteve ao meu lado desde o início desse caminho, muitas vezes difícil, mas juntos chegamos até aqui, minha filha Cecília Gabriele Fregulia, o meu presente de Deus no meio dessa caminhada. Aos meus pais, principalmente em memória de Claudino Fregulia, se não fosse por ele eu tenho certeza de que não estaria vivendo esse momento em minha vida, esse curso vai todo em sua memória.

“Se e um homem tem um talento e não tem capacidade de usá-lo, ele fracassou. Se ele tem um talento e usa somente a metade deste, ele fracassou parcialmente. Se ele tem um talento e de certa forma aprende a usá-lo em sua totalidade, ele triunfou gloriosamente e obteve uma satisfação e um triunfo que poucos homens conhecerão.” (Thomas Wolfe).

## RESUMO

A conservação de energia recebe uma maior atenção devido a sua importância em termos sustentáveis, o ar-condicionado é responsável por um grande consumo de energia elétrica. Diante disso uma alternativa seria a instalação do sistema entálpico, a fim de avaliar se sua instalação será economicamente viável. O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo geral analisar e propor uma metodologia capaz de avaliar e realizar a comprovação da eficiência energética implantada em sistemas de ar-condicionado que utilizam controle por entalpia, com o propósito de oferecer uma ferramenta metodológica para aferição dos resultados, antes empregados somente na teoria. Para realizar o estudo utilizamos a pesquisa bibliográfica e o estudo em campo para a coleta de dados, onde realizamos uma visita técnica em um supermercado, Fort Atacadista em Tubarão – SC, onde colocamos um analisador de energia para realizar uma coleta de dados. O resultado do trabalho não foi o esperado, pois o sistema entálpico estava desabilitado no quadro de comando, com isso só obtivemos dados do sistema de climatização sempre ligado, não entrando o sistema entálpico.

Palavras-chave: Eficiência energética. Sistema Entálpico. Eletromecânica. Sistemas de ar-condicionado.

## **ABSTRACT**

Energy conservation receives greater attention due to its importance in sustainable terms, air conditioning is responsible for a large consumption of electricity. Therefore, an alternative would be the installation of the enthalpy system, in order to assess whether its installation will be economically viable. This course conclusion work has the general objective of analyzing and proposing a methodology capable of evaluating and verifying the energy efficiency implemented in air conditioning systems that use enthalpy control, with the purpose of offering a methodological tool for measuring the results, previously used only in theory. To carry out the study we used the bibliographic research and the field study for data collection, where we carried out a technical visit in a supermarket, Fort Atacadista in Tubarão - SC, where we placed an energy analyzer to perform a data collection. The result of the work was not what was expected, because the enthalpy system was disabled in the control panel, with that we only obtained data from the climate system always on, not entering the enthalpy system.

Keywords: Enthalpic System. Electromechanica. Air conditioning.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Esquema Unifilar do Sistema Entálpico .....	17
Figura 02 – Fontes de energias Renováveis .....	21
Figura 03 – Tipos e modelos de sistemas de ar-condicionado .....	27
Figura 04 – Diagrama unifilar básico do sistema de refrigeração .....	28
Figura 05 – <i>Chiller</i> .....	30
Figura 06 – <i>Fancoil (a) / Fancoil dutado (b)</i> .....	30
Figura 07 – Unidade Evaporadora (a) / Unidade Condensadora (b) .....	31
Figura 08 – Evaporador do <i>Self</i> .....	32
Figura 09 – Condensador remoto do <i>Self</i> .....	32
Figura 10 – Módulo Ventilador do <i>Splitão</i> .....	33
Figura 11 – Módulo Trocador de Calor do <i>Splitão</i> .....	33
Figura 12 – Módulo Condensador do <i>Splitão</i> .....	33
Figura 13 – Esquema elétrico de força .....	34
Figura 14 – Esquema elétrico de força .....	34
Figura 15 – Controlador Lógico Programável .....	35
Figura 16 – Conexões contato seco .....	35
Figura 17 – Conexões de sensores NTC .....	36
Figura 18 – Ligações de sinais de corrente .....	36
Figura 19 – Ligações de sinais de tensão .....	36
Figura 20 – Carta Psicrométrica – Grandezas Termodinâmicas .....	41
Figura 21 – (a) Unidades Evaporadores instaladas com dutos – (b) Unidades Condensadoras: .....	44
Figura 22 – Exaustores: Sistema entálpico .....	44
Figura 23 – Quadro de automação .....	45
Figura 24 – QDAC: Quadro elétrico de distribuição do ar-condicionado .....	45
Figura 25 – QFAC: Quadro elétrico de força do ar-condicionado .....	46
Figura 26 – Sensor externo de Temperatura e Umidade .....	47
Figura 27 – Analisador RE4000 .....	50
Figura 28 – Dados de Tensão (v) – Não tratados .....	50
Figura 29 – Dados de Corrente (i) – Não tratados .....	51
Figura 30 – Relatório de consumo energético diário .....	53
Figura 31 – Manta G4 suja e falta de moldura .....	54

Figura 32 – Limpeza dos sensores de temperatura e umidade .....	55
Figura 33 – Termostato digital com <i>Set-point</i> .....	55
Figura 34 – Sistema entálpico desabilitado .....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Tabela de medição de energia.....	24
Tabela 02 – Tabela de Conversão de Unidades de Refrigeração .....	27
Tabela 03 – Calor específico para diversas substâncias (Temperatura ambiente). .....	39
Tabela 04 – Dados de fábrica dos equipamentos .....	47
Tabela 05 – Média de Temperatura e Umidade .....	48
Tabela 06 – Comparativo entálpico: (a)-Ar externo x (b)-Ar interno .....	49
Tabela 07 – Dados obtidos no levantamento.....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora;
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico;
CLP	Controlador Lógico Programável;
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono;
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica;
PIMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance;
AEE	Ações de Eficiência Energéticas;
kWh	Quilowatt-hora;
TR	Tonelada de Refrigeração;
TP	Transdutor de Pressão;
TC	Transdutor de Corrente;
PEE	Programas de Eficiência Energética;
HP	Cavalo de Potência;
Kcal/h	Quilocalorias por Hora;
BTU/h	British Thermal Unit por Hora;
CAG	Central de Água Gelada;
IP	Grau de Proteção;
Vca	Tensão Alternada;
NTC	Coeficiente Negativo de Temperatura;
V	Tensão Volts;
A	Corrente Amper;
Vdc	Tensão Contínua;
RTU	Unidade Terminal Remota;

BACNet	Automação Predial e Rede de Controle;
TBS	Temperatura de Bulbo Seco;
TBU	Temperatura de Bulbo Úmido;
Pv	Pressão de Vapor;
Psat	Pressão de Saturação;
Pt	Pressão Total;
Pa	Pascal;
kg	Quilograma;
°C	Graus Celsius;
kcal	Quilocaloria;
QDAC	Quadro de Distribuição do Ar-Condicionado;
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão;
QFAC	Quadro de Força do Ar-Condicionado;
kJ	Quilojoules;
m <sup>3</sup> /h	Metros Cúbicos por Hora.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	17
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	18
1.3 OBJETIVOS .....	18
1.3.1 Objetivo Geral .....	18
1.3.1.1 Objetivos Específicos .....	19
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>20</b>
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	20
2.1.1 Energias renováveis.....	20
2.1.2 Redução do consumo energético.....	21
2.1.2.1 Práticas e medidas de conservação.....	21
2.2 MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO.....	22
2.3 SISTEMA DE AR-CONDICIONADO .....	25
2.3.1 Classificação dos sistemas e tipos.....	29
2.3.1.1 Sistemas de expansão indireta .....	29
2.3.1.1.1 Resfriador de Líquido – <i>Chiller</i> .....	29
2.3.1.1.2 <i>Fancoil</i> .....	30
2.3.1.2 Sistema de expansão direta.....	31
2.3.1.2.1 <i>Split</i> .....	31
2.3.1.2.2 <i>Self</i> condensação a ar .....	31
2.3.1.2.3 <i>Splitão</i> .....	32
2.3.2 Controles .....	33
2.3.2.1 Controle eletromecânico.....	33
2.3.2.2 Controle de automação .....	35
2.4 SISTEMA ENTÁLPICO .....	37
2.4.1 Termodinâmica.....	37
2.4.1.1 Temperatura.....	37
2.4.1.1.1 Umidade relativa.....	38
2.4.1.2 Umidade absoluta .....	38
2.4.1.3 Pressão.....	39
2.4.1.4 Calor Específico .....	39
2.4.1.5 Entalpia Específica .....	39

2.4.2	Psicrometria.....	40
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTO METODOLÓGICO .....</b>	<b>42</b>
3.1	TÉCNICA DE COLETA DE DADOS .....	42
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>43</b>
4.1	APRESENTAÇÃO DA PROPONENTE .....	43
4.2	APRESENTAÇÃO DA INSTALAÇÃO.....	43
4.2.1	Apresentação do sistema ar-condicionado .....	43
4.2.2	Apresentação do sistema entálpico .....	44
4.2.3	Apresentação do sistema de distribuição elétrica.....	45
4.2.4	Lógica de funcionamento dos sistemas.....	46
4.3	DADOS DO LEVANTAMENTO .....	47
4.3.1	Projeto .....	47
4.3.2	Visita técnica.....	48
4.3.3	Dados coletados.....	49
4.3.3.1	Dados coletados – Não tratados.....	50
4.3.3.2	Dados coletados - Tratados .....	51
4.4	PROBLEMAS ENCONTRADOS.....	54
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Muito se tem discutido recentemente a cerca de eficiência energética, mas pouco se tem realizado para nos tornarmos um país energeticamente eficiente.

Ao falarmos em eficiência energética nosso primeiro pensamento são as energias renováveis, muito importantes para o meio ambiente e alternativas excelentes para a geração de energia elétrica, mas podemos ir além, realizar projetos residenciais, prediais e ou industriais, já focados em instalações energeticamente eficientes e sustentáveis. Um modelo de desenvolvimento possível de ser sustentável deve ser capaz não só de contribuir para superar os atuais problemas, mas também, de garantir a própria vida por meio da proteção e manutenção dos sistemas naturais que o tornam possível (ROMÉRIO, MARCELO DE ANDRADE, 2012).

No presente trabalho de conclusão de curso será apresentado uma metodologia capaz de mensurar os resultados quanto a eficiência energética de equipamentos de ar-condicionado que utilizam controle entálpico, apresentando dados que poderão comprovar ou não a eficiência energética do sistema implantado.

A aplicação do controle entálpico em sistemas de ar-condicionado significa usar o ar externo, com determinadas características de umidade e temperatura, para realizar a climatização do ambiente desejado. Com o auxílio da instalação do sistema de automação que realiza a leitura da temperatura interna e externa, assim como, a leitura de umidade externa, compara com um *set point* entálpico pré-definido e se este resultado for positivo o ar externo fica climatizando o ambiente, não sendo necessário o uso de parte do equipamento de ar-condicionado, ou seja, será utilizado apenas os ventiladores dos ar-condicionado, deixando os compressores desabilitados durante todo o tempo em que o sistema entálpico estiver ativo.

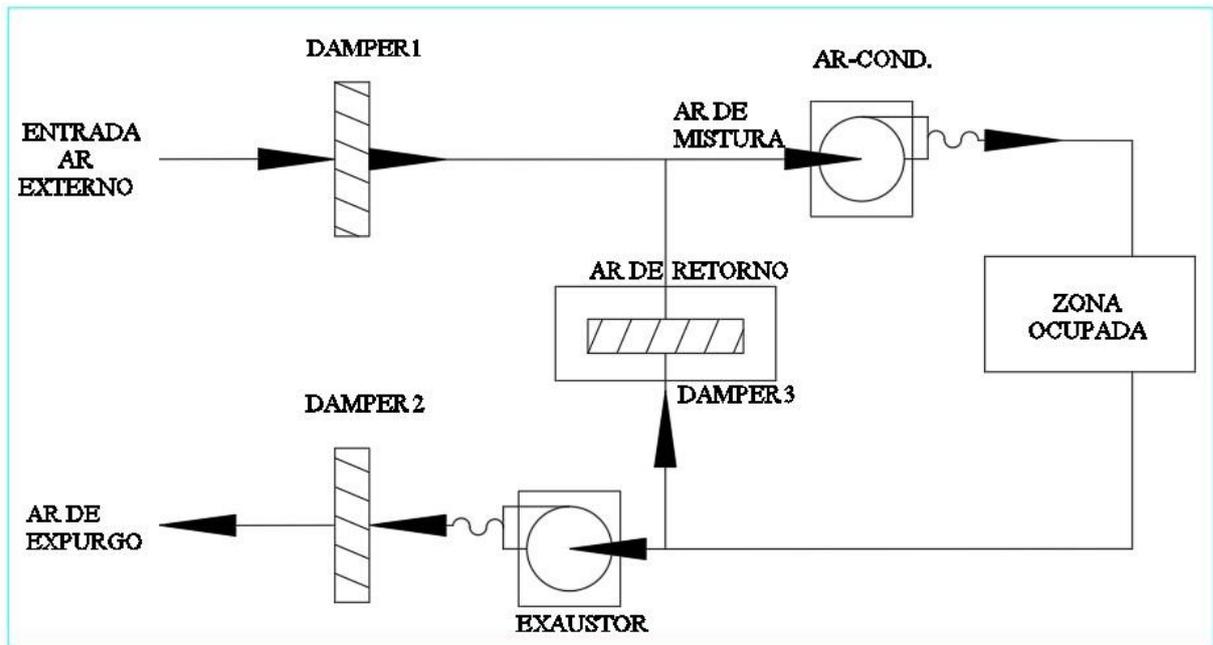
O controle entálpico é uma solução conhecida na área da climatização e que pode trazer um resultado econômico positivo em eficiência energética nos setores industriais, comerciais, prediais e de algumas residências, essa última menos usual que as restantes.

O sistema de entalpia é mais utilizado em indústrias e comércios, onde temos equipamentos de maior porte e com maiores consumo de energia elétrica. O sistema entálpico funciona associado à taxa de umidade e temperatura do ar insuflado, como podemos observar na figura 01 (MITCHELL, John W. 2018).

O sistema entálpico nada mais é que um tipo de automação, onde o sistema de ar-condicionado fica desligado, funcionando só o sistema de ventilação, aproveitando o ar externo para realizar a climatização do ambiente. Para que isso aconteça a temperatura e a umidade, do

ambiente externo, devem conter as características suficientes para suprir a carga térmica do ambiente interno.

Figura 01 – Esquema Unifilar do Sistema Entálpico



Fonte: Autores (2021).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Na atualidade um dos grandes problemas das empresas são os custos fixos, como a energia elétrica. Uma das saídas encontradas pelas empresas é optar por energias renováveis, obtendo assim uma diminuição da fatura de energia elétrica.

O Brasil fornece energia elétrica através de uma matriz energética onde 65,2% são obtidas por fontes hídricas (BEM,2021). Segundo a publicação da ONS o país passa pela pior crise hidrológica desde 1930 e nos últimos sete anos os reservatórios das hidrelétricas receberam um volume de água inferior à média histórica (ONS 2022).

Diante desse contexto, sabemos que essa crise afeta todos os setores da economia, entre eles o setor de geração de energia elétrica, pois com essa falta de chuva o ONS necessita acionar outras fontes de energia elétrica, como as termelétricas, sendo que o custo para geração na termoelétrica é maior se comparado as hidrelétricas. Como um efeito cascata, o governo repassa esse valor para os consumidores finais através das bandeiras tarifárias, quanto mais alto o valor gasto para gerar energia elétrica maior será a faixa da bandeira tarifária, podendo chegar na bandeira vermelha, a mais alta tarifa.

Outros setores que sofrem com esse efeito cascata, são os setores industrial e comercial, sendo que a maioria destes necessitam de alta demanda de energia elétrica, sendo grande parte destinada aos sistemas de climatização, impactando diretamente no custo fixo com energia elétrica.

Realizar um estudo em sistemas de ar-condicionado que utilizam controle entálpico como medida de eficiência energética, e propor uma metodologia que capta resultados capaz de nortear decisões administrativas baseado em informações reais e técnicas, trará uma certeza maior e embasará gestores de grandes empresas a justificar implantações futuras de equipamentos de ar-condicionado que utilizam controles entálpico como uma forma de diminuir o consumo com energia elétrica em suas unidades de negócio e consecutivamente diminuir gastos financeiros com esse tipo de custo fixo.

## 1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Sistemas de ar-condicionado representam a maior parcela no consumo de energia elétrica de um empreendimento, principalmente no setor comercial, então saber mensurar a eficiência energética de sistemas de ar-condicionado que utilizam controle entálpico é uma tarefa plausível.

Tendo em vista essa necessidade, propomos em nosso trabalho de conclusão de curso realizar e implementar um estudo para fornecer uma metodologia que seja adequado para extrair os resultados com eficiência energética de sistemas de ar-condicionado que utilizam controle entálpico.

## 1.3 OBJETIVOS

Os objetivos caracterizam de uma forma resumida a finalidade do trabalho de pesquisa e são subdivididos em específico e geral. Objetivo geral define o propósito do estudo, o específico caracteriza fases e etapas do projeto.

### 1.3.1 Objetivo Geral

Analisar e propor uma metodologia capaz de avaliar e realizar a comprovação da eficiência energética aplicada em sistemas de ar-condicionado que utilizam controle por

entalpia, com o propósito de oferecer uma ferramenta metodológica para aferição dos resultados, antes empregados somente na teoria.

#### 1.3.1.1 Objetivos Específicos

- Descrever os componentes e a lógica de funcionamento de um sistema entálpico.
- Apresentar exemplo de projeto onde o sistema é eficaz.
- Mostrar uma possível estimativa de economia financeira com a implementação do sistema, caso os resultados obtidos permitam tal estimativa.
- Apresentar características do CLP - controlador lógico programável com protocolo Modbus.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Será explorado em capítulos a frente um método para medição e verificação da eficiência energética em sistemas de climatização que utilizam controle entálpico. A utilização desse tipo de controle vem de encontro a uma ideia de melhoramento da eficiência energética, porém, essa é apenas uma de várias formas que se pode trabalhar para manter um sistema eficiente eletricamente. Assim como as boas práticas que podem ser adotadas em sistemas de climatização que ajudam a tornar um sistema mais eficiente energeticamente.

### 2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Toda e qualquer atividade exercida pode ter seu desempenho quantificado através da verificação da eficiência, sendo que eficiência é fazer o maior número de atividades com um menor gasto, realizando a procura para o melhor uso possível dos recursos disponíveis, sejam eles tempo, dinheiro, matéria-prima, ou no nosso caso, energia elétrica.

Eficiência energética em equipamentos eletromecânicos pode também dizer que é melhorar, no sentido de diminuir o consumo energético sem perder capacidade de trabalho, para assim, conseguir otimizar o uso das fontes de energia elétrica.

Para se conseguir um bom resultado tem que ser elaborado conjuntos de ações sustentáveis que abranja toda a cadeia, da produção ao consumo de energia elétrica. Atualmente tem se discutido muito sobre recursos renováveis como forma de fornecimento de energia elétrica e os efeitos da utilização de recursos naturais para atender a sociedade, em conjunto com definições de estratégias para garantir o necessário para o consumo de hoje sem comprometer os recursos naturais existentes, assim como, os efeitos climáticos causado pelas emissões de poluentes.

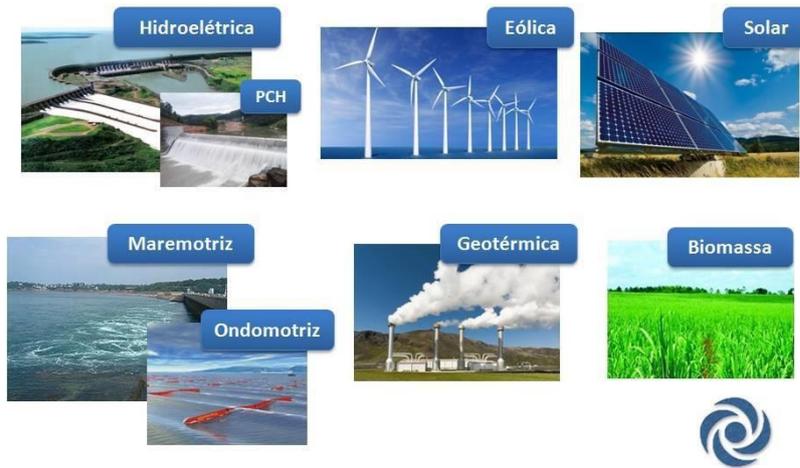
#### 2.1.1 Energias renováveis

A energia elétrica hoje é tratada como recurso essencial para a sobrevivência do ser humano, mas com sustentabilidade de seu consumo, é um dos temas mais discutidos na sociedade, nas indústrias e sobretudo nas lideranças governamentais.

As energias renováveis são aquelas resultantes de recursos renováveis, como a energia hídrica, maremotriz, geotérmica e as energias chamadas de emergentes, como a energia solar, eólica e de biomassa, ver figura 02. Vale ressaltar que energias renováveis são aquelas

produzidas por recursos naturais, mas nem todas estão listadas como energias que não emitem gases poluentes. Como exemplo pode ser citado a energia renovável proveniente das termoelétricas a biomassa, que em seu processo de transformação libera CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono, poluente que em alta concentração causa graves desequilíbrios no planeta sendo responsável pelo efeito estufa e camada de ozônio, contribuindo para o aquecimento global.

Figura 02 – Fontes de energias Renováveis



Fonte: Neosolar (2022).

## 2.1.2 Redução do consumo energético

Realizar planejamentos e estratégias para o bom uso e consciente da energia elétrica agrega não só na cadeia de produção e no uso sustentável da energia, mas também, reduzir o consumo energético. Os equipamentos se tornam mais eficientes, refletindo assim no custo financeiro que empresas deixam de pagar pelo uso da energia elétrica em equipamentos não eficientes energeticamente. Quanto maior a eficiência do equipamento menor será o gasto com energia elétrica e menor será o valor pago pelas empresas aos fornecedores de energia elétrica e menor será o impacto no planeta.

### 2.1.2.1 Práticas e medidas de conservação

Um projeto adequado e um bom plano de operação e manutenção das instalações elétricas e de equipamentos e máquinas elétricas, podem representar significativas economias de energia elétrica (COPEL, 2005).

Na maioria das aplicações uma máquina ou equipamento trabalhando fora das suas características de funcionamento, consomem uma quantidade de energia elétrica além do especificado pelo fabricante (COPEL, 2005).

Em sistemas de climatização do tipo expansão direta, podemos destacar as seguintes verificações (COPEL, 2005):

- Realizar vistorias no isolamento térmico de tubulações de líquidos e de gás;
- Verificar posicionamento da unidade condensadora, muitas vezes o local escolhido para realizar a instalação dessa unidade não favorece quanto a enclausuramento e exposição a sol. Condensadoras instalados em ambientes com pouca ventilação ou excesso de exposição de sol tendem a trabalhar fora as condições normais;
- Verificar se é realizada limpeza regularmente nas serpentinas das unidades evaporadoras e condensadoras;
- Verificar as pressões de trabalho do sistema de refrigerante, executando balanceamentos termodinâmicos;
- Verificar o funcionamento da instrumentação e dos sistemas de proteção e controle;
- Verificar vazão de ar dos equipamentos, identificando se polias e correias estão desgastadas ou frouxas, diminuindo consideravelmente a vazão de ar;

Por essas razões é que se afirmam existirem, na maioria das instalações, inúmeras oportunidades de economizar eletricidade nos sistemas de ventilação e ar-condicionado.

## 2.2 MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO

Para que tenhamos certeza de que o nosso sistema seja eficiente energeticamente, devemos ter uma prática de medição e verificação consistentes. Para que possamos conseguir dados dessa eficiência energética precisamos adotar algum tipo de método de verificação, mas segundo a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), no que se refere aos métodos temos (2013, p.4):

O PIMVP (Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance) não prescreve métodos específicos para apuração da economia de energia advinda de uma ação de gestão energética. Ao contrário, devido à multiplicidade de situações encontradas na prática, define uma estrutura de abordagem e uma terminologia que permitem a sua adequação às diversas situações encontradas. Para cada situação específica, portanto, deve ser elaborado um Plano de M&V para direcionar as ações e para garantir que “todos os dados necessários para a determinação da economia estarão disponíveis após a implementação da(s) AEE(s) (Ações de Eficiência Energéticas), dentro de um orçamento aceitável”.

Podemos observar que a ANEEL não prescreve métodos específicos de verificação de economia de energia, na verdade como existem várias situações na prática ela só define estruturas de abordagens que podem ser utilizadas ou adequadas nas situações diversas que podemos projetar.

O primeiro passo é realizar um estudo do projeto em questão. Para casos que utilizam sistema de climatização com equipamentos do tipo *Splitão* acrescidos de controle entálpico, é necessário produzir a planilha de cálculo, nesse primeiro momento anotar os dados de consumo de energia elétrica dos equipamentos utilizados no projeto de climatização será de extrema valia.

Para o passo seguinte, com os dados de consumo em mãos, deverá ser traçado uma estratégia de medição e verificação, identificando as variáveis que explicam a variação da energia, determinar onde serão observados os efeitos da ação da eficiência energética, escolher uma opção do PIMVP entre 4 para verificar a economia de energia elétrica, uma análise entre a energia e as variáveis independentes e definir como será calculado a economia de energia e a redução da demanda.

O Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance é composto por 4 opções para determinar a eficiência energética:

- Opção A: consiste em fazer uma estimativa, sem medição, de alguns parâmetros como energia e variáveis independentes.
- Opção B: nessa opção mede-se todos os parâmetros envolvidos, desde a energia como as variáveis independentes. Vamos usar essa opção para ter uma rigorosa economia, sem estimativas.
- Opção C: normalmente é a opção mais barata, pois usamos o medidor da distribuidora. Nessa opção precisamos de um tempo maior para o período de determinação da economia inicial.
- Opção D: usada para avaliar a implantação de novas ações de eficiência energética em novas instalações. Nesse caso deve ser elaborado um modelo de uso padrão para avaliar a eficiência energética.

A próxima ação é escolher uma das opções, após estudar o projeto, para estudo da eficiência energética.

O próximo processo é realizar as medições do período da linha de base, segundo a ANEEL significa (2013, p.7):

Esta deve ser a primeira atividade da fase de Execução, antes da implementação das ações de eficiência energética propriamente ditas. Devem ser instalados os medidores

e recolhidos os dados da energia (e/ou variáveis dependentes – potência, demanda, tempo de funcionamento, FCP) e das variáveis independentes, perfeitamente sincronizados. Levantar também os fatores estáticos e dados necessários à estimativa dos efeitos interativos, se for o caso. Geralmente, na fase de Definição (diagnóstico energético) são feitas medições para apoiar a avaliação ex ante e a análise de viabilidade da AEE. Estas medições, em geral, não são feitas com o rigor nem abrangência necessários para se constituírem em dados do período da linha de base.

Pode-se observar que a primeira ação é realizar a instalação de medidores, para a leitura de consumo de energia elétrica, e estudo do projeto, onde são retirados os dados das variáveis independentes, que podem ser o clima, produção, ocupação, equipamentos instalados. Com esses dados deverá analisar a viabilidade da Ação da Eficiência Energética, mesmo com essa leitura não será obtido todos os dados do período da linha de base. Para poder ter dados confiáveis deverão ser usadas as planilhas de cálculos para estimativa da amostragem. O próximo passo é juntar todas essas informações e fazer a planilha de cálculo, ver exemplo na tabela 01, pois já foi verificada todas as informações de consumo de energia elétrica, antes e depois do sistema implantado, onde essa planilha de cálculo dá as informações se o sistema nos trará uma eficiência energética satisfatória.

Tabela 01 – Tabela de medição de energia

Medição de energia			
Ponto	Dia	kWh	Temp.
1	1	25,74	24,6
1	2	20,57	24,9
1	3	5,85	23,9
1	4	8,75	22,9
1	5	7,65	23,7
1	6	20,63	23,2
1	7	18,83	23,2
1	8	6,81	24,1
2	9	8,23	24,6
2	10	15,16	24,9
2	11	15,26	23,9

Fonte: (Guia de M&V, 2014)

Em sistemas de climatização de grande porte, muitas vezes, são utilizados supervisórios dedicados a verificação e medição das grandezas envolvidas no processo, tais como, verificações e medições de pressões, temperaturas, umidade e capacidade em TR ativa nos

equipamentos, assim como, correntes elétricas por fase, tensões elétricas por fase, potência ativa e reativa fator de potência.

Em conjunto ao sistema supervisorio temos os controladores CLP e seus periféricos, que para cada grandeza ou grupo de grandeza, haverá um periférico específico de leitura, tais como, termômetros analógicos, transdutores de pressão (TP), transdutores de corrente elétrica (TC).

Deverão ser realizadas avaliações a longo prazo fora do escopo de cada projeto, avaliando a permanência da Ação da Eficiência Energética, a evolução dos valores economizados e a mudança de hábitos, proporcionadas com ações apoiadas pelo Programa de Eficiência Energética. Sendo que, para avaliação do impacto do programa nos hábitos de uso da energia, dever-se-ia também responder:

- Qual a taxa de permanência no uso de equipamentos eficientes?
- Como ela evolui ao longo do tempo?
- Que fatores a influenciam (por exemplo, treinamentos/conscientização)?

A avaliação dos resultados do PEE e suas AEEs vem passando por um processo de evolução e é preciso verificar, portanto, como estes resultados de curto prazo podem ser projetados ao longo tempo. Ou seja, deve-se responder às seguintes perguntas:

- Como a economia medida varia ao longo do tempo?
- Quais as variáveis que influenciam esta variação?
- Quais as “variáveis independentes de longo prazo” (por exemplo, radiação solar), não consideradas nas medições atuais, devem ser consideradas, e como?
- Quais as “variáveis de influência” que explicam as variações entre diferentes unidades (por exemplo, geladeiras – número de pessoas da casa, volume do refrigerador, idade etc.) e como as explicam?
- Como a degradação dos equipamentos se reflete na economia de energia ao longo do tempo?

### 2.3 SISTEMA DE AR-CONDICIONADO

Antes de iniciarmos o tópico se faz necessário o entendimento de algumas grandezas físicas, tais como:

- Energia – Elemento capaz de causar transformação na natureza, que podem ocorrer de diversas formas que dependendo o tipo de transformação define o tipo de energia envolvida, energia mecânica movimentação de um corpo de um local

para outro, assim como o aumento de temperatura em um líquido só é possível com a aplicação de calor, ou seja, energia térmica (Silva, 2003);

- Calor – Entende-se como uma forma de energia transferida de um corpo a outro devido diferenças de temperatura, podendo ser classificada como condução, quando a necessidade de um meio sólido, conversão quando a necessidade de um meio fluido e a radiação que não necessita de meio, pois o calor se transfere entre corpos através de ondas eletromagnéticas (Silva, 2003);
- Trabalho – Uma forma de energia mecânica capaz de realizar movimentação de um corpo, exemplo do pistão dentro do compressor, se movimenta e realiza trabalho sobre o fluido (Silva, 2003);
- Potência – É a capacidade de executar uma determinada tarefa num tempo maior ou menor, exemplo, uma chama que é capaz de ferver a água em 5 minutos tem metade da potência de uma chama que ferve a mesma quantidade de água em 2,5 minutos (Silva, 2003);

Sistemas de ar-condicionado são utilizados para climatizar ambientes fechados, quando falamos em “climatizar ambientes” intrinsicamente nos referimos ao processo de tratamento de ar em ambientes fechados, controlando sua temperatura, umidade, pureza e movimentação, todas para obtenção de um ambiente mais agradável.

Para realizar a climatização utilizamos algumas técnicas, como realizar o estudo da carga térmica do ambiente a ser climatizado. Para efeito de cálculo devem ser identificadas as zonas térmicas de cada local. As cargas térmicas devem ser calculadas em diferentes horas do dia, para determinar a carga máxima de cada zona e as cargas máximas simultâneas de cada ambiente (Norma ABNT NBR 16401-1, 2008).

Após verificar a carga térmica do ambiente, no desenvolvimento do projeto, temos que definir a capacidade dos equipamentos que devem ser instalados. Nos cálculos de carga térmica os resultados são dados em TR`s (Tonelada de Refrigeração), para converter esse dado em outras medidas precisamos utilizar uma tabela de conversão, assim, podemos observar na tabela 02.

Tabela 02 – Tabela de Conversão de Unidades de Refrigeração

Unid.	Multiplique	Por	Para Obter	Unid.
kW	Quilowatt	1,341	Horse Power	HP
kW	Quilowatt	860	Quilocaloria por Hora	kcal/h
TR	Tonelada de Refrigeração	3,517	Quilowatt	kW
TR	Tonelada de Refrigeração	12.000	British Thermal Unit por Hora	Btu/h

Fonte: Autores (2022).

Basicamente, para se climatizar um ambiente precisamos de um sistema que seja capaz de realizar algumas funções, tais como, movimentar de forma contínua o ar deste ambiente fechado, desta forma forçar a movimentação do ar para que entre em contato com elementos que realizam, o tratamento e o controle da temperatura e umidade.

Existem diversos tipos e modelos de sistemas de ar-condicionado, ver figura 03 que podem ser implantados.

- *Splits* – Para serem utilizados apenas em uma única zona ou ambiente;
- *Splitões* – Para serem utilizados em múltiplas zonas, com capacidades para atendimento de médio a grande porte;
- *Self's* – Para serem utilizados em múltiplas zonas, com capacidade para atendimentos de médio porte;
- *Chillers e Fancoil* – Para serem utilizados em múltiplas zonas, com capacidade para atendimento de grande porte;

Figura 03 – Tipos e modelos de sistemas de ar-condicionado



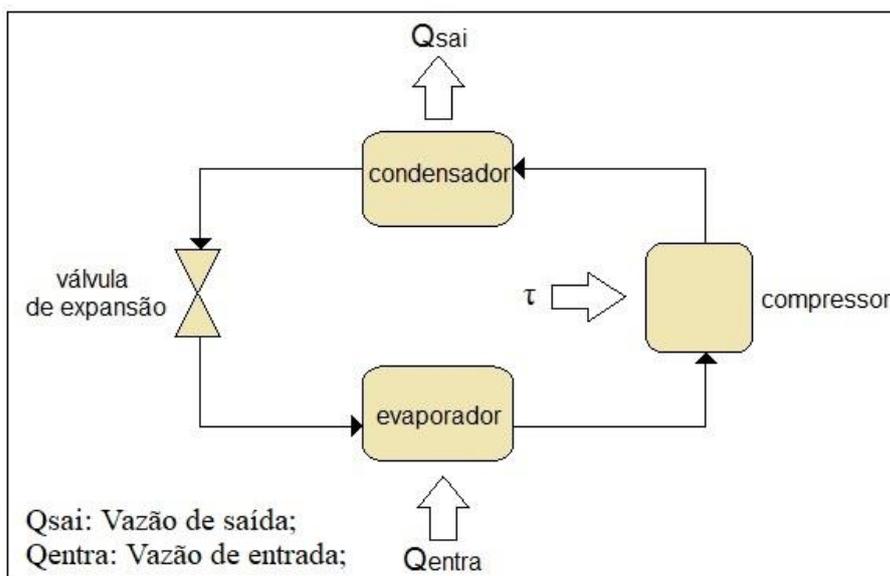
Fonte: Carrier do Brasil (2022).

Entre esses existem duas classificações, os de expansão direta, como os *Selvs* e *Splitões*, onde todos os componentes básicos da refrigeração se encontram acoplados entre si conectados a um único fluido que transporta o calor entre os elementos (Evaporador, condensador, dispositivo de compressão e dispositivo de expansão), e os do tipo expansão indireta, como os sistemas de água gelada que necessitam de um segundo fluido (água) para transporte e a ligação entre seus elementos de ponta, ou seja, entre o *Chiller*, equipamento responsável por gelar a água, e o *Fancoil*, equipamento responsável por realizar a troca de calor entre o ambiente a ser climatizado e a água gelada vinda da CAG – Central de Água Gelada.

Independente qual tipo ou modelo de sistema, todos são formados por um sistema básico de refrigeração, conforme figura 04, composto por:

- Módulo ventilador – responsável por realizar a movimentação contínua do ar;
- Módulos trocadores de calor – Evaporador e condensador responsável por realizar a troca termodinâmica e transferência de calor entre o ambiente interno e externo;
- Dispositivo de compressão – Compressores capaz de elevar a pressão e temperatura do fluido;
- Dispositivo de expansão – Capilares, válvulas de expansão eletrônica ou termostática, capaz de abaixar a pressão e temperatura do fluido;

Figura 04 – Diagrama unifilar básico do sistema de refrigeração



Fonte: Infoescola (2022).

### 2.3.1 Classificação dos sistemas e tipos

Existem duas classificações de sistemas, expansão direta e expansão indireta e dentro dessa classificação existem suas variações de tipos. Para sistemas com expansão indireta podemos citar os resfriadores de líquido – *Chillers e o Fancoil*, e para os sistemas de expansão direta, entram nessa variação de tipo os *splits, Splitões, Self's* condensação remota.

#### 2.3.1.1 Sistemas de expansão indireta

##### 2.3.1.1.1 Resfriador de Líquido – *Chiller*

O *Chiller* geralmente é utilizado em aplicações onde se necessitam de grandes capacidades de refrigeração, ou seja, utilizados em grandes empreendimentos como shopping centers, prédios comerciais, grandes centros atacadistas.

Sistemas que utilizam essa concepção de projeto necessitam de duas casas de máquina, uma casa de máquina para abrigar a chamada CAG - Central de água gelada, onde comporta parte do sistema, como o próprio equipamento *Chiller*, o sistema de bombeamento da água com bombas centrífugas, os quadros elétricos de força e comando, assim como, os quadros responsáveis pelo sistema de automação e outra casa de máquina responsável por abrigar os *Fancoil*.

Resfriadores de líquido (*chillers*) ver figura 05, compostos por trocadores de calor, compressores e dispositivos de expansão do tipo termostáticos ou eletrônico, bem como sistema de controle, monitoramento e proteção. Sua função é prover água gelada ou quente para processos industriais destinado a condicionamento de processos produtivos, ou em conjunto com unidades de tratamento de ar (*Air Handlers* e/ou *Fancoletes*), que comportam dutos que conduzem o ar de uma unidade de tratamento de ar para diversos ambientes a serem condicionados, com a finalidade de controle de temperatura e umidade relativa destes. Estas unidades resfriadoras de líquido podem ser adquiridas de forma individual ou em conjunto com unidades de tratamento de ar para configurar sistemas de ar-condicionado “dutado”, ver figura 6b, conforme demanda da aplicação (Manual de Operação Carrier, 2022).

Figura 05 – *Chiller*



Fonte: Carrier do Brasil (2022).

### 2.3.1.1.2 *Fancoil*

Equipamento utilizado sempre em conjunto com *Chiller*, fazendo parte do sistema de água gelada, desempenha duas funções de extrema necessidade para o bom funcionamento do sistema, movimentação do ar de forma contínua e forçada, através de turbinas acopladas a motores elétricos – Módulo ventilador, e troca calor recebendo água gelada através de uma serpentina, capaz de realizar a troca de calor entre o ambiente interno e a água gelada – Trocador de calor. A água que passa dentro do trocar de calor é a grande responsável pelo transporte da temperatura extraída do ambiente interno até o *Chiller*, surgindo o conceito de sistema com expansão indireta, ou seja, o transporte de calor entre dois equipamentos, *Chiller*, figura 05 e *Fancoil* figura 06, através de água (Manual de Operação Carrier, 2022).

Figura 06 – *Fancoil* (a) / *Fancoil dutado* (b)



(a)



(b)

Fonte: Carrier do Brasil (2022).

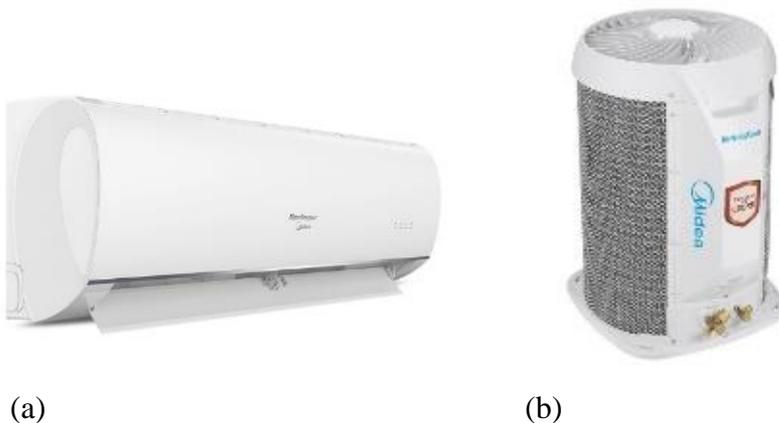
### 2.3.1.2 Sistema de expansão direta

#### 2.3.1.2.1 *Split*

Muito utilizado em residências e lojas comerciais de pequeno porte, para climatizar ambientes que necessitam de baixa potência de refrigeração, tais como, quartos, salas e escritórios, comercializado entre 7.500 Btu/h (0,625 TR) a 60.000 Btu/h (5 TR) de capacidade de refrigeração (Manual de Operação Carrier, 2022).

Equipamento bipartido composto por duas unidades, sendo a unidade evaporadora, figura 7a, e a unidade condensadora, figura 7b, o compressor e o dispositivo de expansão geralmente ficam alocados todos dentro da unidade condensadora. Para a instalação desse equipamento é necessário a utilização de tubos de cobre para unir os dois conjuntos, desta forma, tornando-o muito versátil nas aplicações residenciais.

Figura 07 – Unidade Evaporadora (a) / Unidade Condensadora (b)



Fonte: Carrier do Brasil (2022).

#### 2.3.1.2.2 *Self* condensação a ar

Diferencia-se do *split*, devido a três fatores, o primeiro é que este modelo, ver figura 08 e 09, foi concebido para ser aplicado em locais onde necessita de uma capacidade de climatização de médio porte, equipamentos comercializados com capacidade de 5 TR a 20 TR, o segundo fator é que necessitam de uma rede de duto para realizar a distribuição de ar de insuflamento, podendo atender múltiplos ambientes, e o terceiro fator fica a cargo do compressor e dispositivos de expansão que são instalados dentro da unidade evaporadora (Manual de Operação Carrier, 2022).

Figura 08 – Evaporador do *Self*



Fonte: Carrier do Brasil (2022).

Figura 09 – Condensador remoto do *Self*



Fonte: Carrier do Brasil (2022).

### 2.3.1.2.3 *Splitão*

Equipamento projetado para ser utilizado de forma modular, adaptando-se a ambiente que necessitam de média a grande capacidade de climatização. Estes equipamentos são comercializados com capacidade que vão de 5 TR a 50 TR. Para aplicações que necessitam de mais capacidade de climatização como grandes mercados e indústrias, geralmente se utiliza mais que 1 equipamento, sendo necessário conectar o sistema de ventilação dos equipamentos a uma única caixa Plenum, onde é conectado todos os ramais de distribuição do ar insuflado (Manual de Operação Carrier, 2022).

O nome *Splitão*, como é conhecido, surgiu devido a características de funcionamento e disposição dos componentes do sistema de refrigeração serem parecidos com o *split* tratado no tópico 2.3.1.2.1, ou seja, existe a unidade evaporadora só que no *splitão* ele é composto por 2 módulos, o módulo ventilador – Figura 10, e o módulo trocador de calor – Figura 11, e existe o módulo condensador – Figura 12, composto pelo trocador de calor mais o compressor, parecido com o *Split*. Além disso, vale lembrar que a interligação entre o evaporador e o

condensador também é feita por tubos de cobre dimensionados de acordo com a distância entre eles e a capacidade, diferenciando do *split* apenas por ser de maior capacidade.

Figura 10 – Módulo Ventilador do *Splitão*



Fonte: Carrier do Brasil (2022).

Figura 11 – Módulo Trocador de Calor do *Splitão*



Fonte: Carrier do Brasil (2022).

Figura 12 – Módulo Condensador do *Splitão*



Fonte: Carrier do Brasil (2022).

## 2.3.2 Controles

### 2.3.2.1 Controle eletromecânico

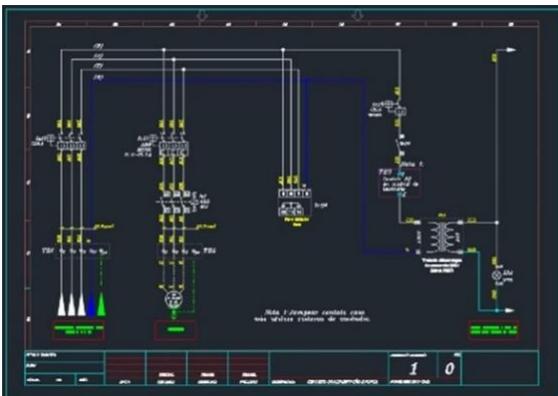
Todo sistema de ar-condicionado, exaustão e ventilação conta com um sistema capaz de realizar o acionamento de forma lógica de suas partes eletromecânicas, ver figura 13 e 14, como motores dos ventiladores, atuadores e compressores. Para realizar esta atividade o sistema de

controle eletromecânico conta com quadro elétrico, este é composto com componentes como contadores de força, contadores de comando, chaves seletoras, lâmpadas de sinalizações, disjuntores, fusíveis, entre outros. Na maioria das aplicações este controle é operado de forma manual, porém, integrado ao controle de automação este passa a realizar decisões com um nível de independência muito maior.

Esses quadros são dimensionados de forma que possam comportar os componentes de comando e de proteção, condutores de fase, de neutro e terra calculados para os circuitos de distribuição, devendo também conter espaço para possíveis expansões de carga para satisfazer os critérios determinados pela norma NBR 5410;2004 e NBR IEC 60439.

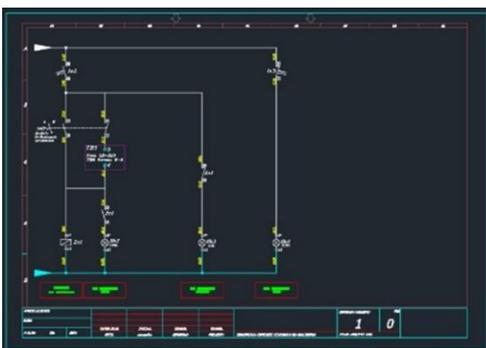
Segundo Mamede Filho (2010, p.6) os quadros devem ser construídos de modo a satisfazer as condições do ambiente em que vão ser instalados, bem como apresentar um bom acabamento, rigidez mecânica e disposição apropriada nos equipamentos instrumentos. Os quadros abrigados em ambiente com atmosfera normal devem em geral apresentar grau de proteção IP40 e os em atmosfera poluída, devem apresentar grau de proteção IP-54.

Figura 13 – Esquema elétrico de força



Fonte: Autores (2018).

Figura 14 – Esquema elétrico de força



Fonte: Autores (2018).

### 2.3.2.2 Controle de automação

Para realizar o sistema de controle entálpico precisamos usar um controlador programável, figura 15 com controles avançados e totalmente customizáveis de temperatura e umidade, com linguagem totalmente programável. Com saídas digitais a relé, com capacidade de acionamento de cargas diretamente em 220 Vca. Entradas universais, configuráveis entre digital a contato seco, sensor NTC 10k, tensão (0/2-10V) e corrente (0/4-20mA), saídas analógicas configuráveis entre tensão (0/2-10V) e corrente (0/4-20mA). Disponibiliza alimentação 24Vdc para alimentação de sensores externos.

Figura 15 – Controlador Lógico Programável

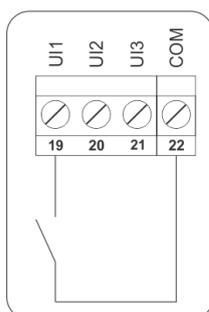


Fonte: Mercado Automação (2021).

Parte do controle de automação será integrado ao sistema de controle eletromecânico como forma de deixar o sistema entálpico atuando independente e automatizado, onde irá tomar decisões com referências em dois aspectos. O primeiro trata-se dos dados pré parametrizadas-parâmetros de referências configurados no controlador. E o segundo aspecto irá buscar os dados obtidos nos periféricos de entrada do controlador. Ao comparar os dois aspectos, pré parametrizados e os dados obtidos na entrada, o controlador irá tomar a decisão mais conveniente e enviar o comando para as saídas de atuação- analógica e digital

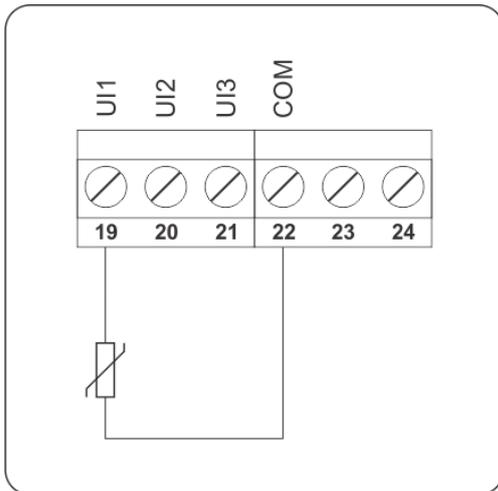
Conexões de componentes de entrada e saída do controlador programável instalados conforme mostrado nas figuras de 16 a 19, abaixo:

Figura 16 – Conexões contato seco



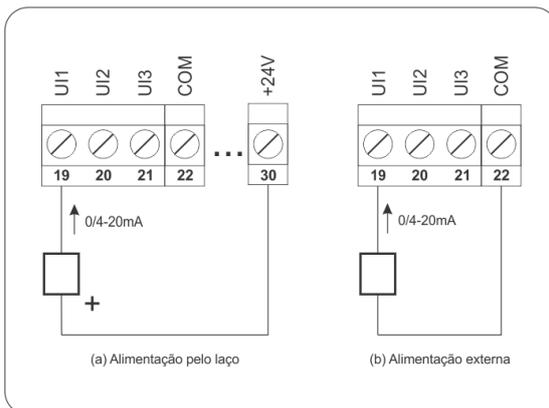
Fonte: Mercado Automação (2021)

Figura 17 – Conexões de sensores NTC



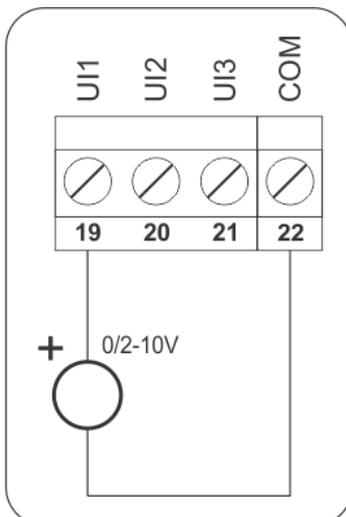
Fonte: Mercado Automação (2021).

Figura 18 – Ligações de sinais de corrente



Fonte: Mercado Automação (2021).

Figura 19 – Ligações de sinais de tensão



Fonte: Mercado Automação (2021).

Para interagir com um sistema central predial de automação, caso necessite, o controlador conta com porta de comunicação RS485 isolada com protocolo *Modbus* RTU (Mestre ou escravo) ou *BACnet* MS/TP, além das portas RS485 auxiliar sem isolamento, com os protocolos *Modbus* RTU mestre ou *Climate*.

## 2.4 SISTEMA ENTÁLPICO

A refrigeração e o ar-condicionado baseiam-se na utilização direta de componentes que funcionam a partir de princípios físicos desenvolvidos através do conhecimento do comportamento térmico das substâncias e dos fenômenos da transferência de calor. (Silva, 2003).

### 2.4.1 Termodinâmica

Definida como a área do conhecimento que estuda relações entre o calor e trabalho e suas aplicações no desenvolvimento das máquinas térmicas. O estudo das transferências de calor, tem como objetivo o entendimento de como o calor é trocado e foi através de seu conhecimento que se fundamentaram as invenções das máquinas a vapor, dos motores automotivos, e das máquinas de refrigeração (Silva, 2003).

#### 2.4.1.1 Temperatura

A temperatura é associada com a agitação molecular de um corpo. Quanto mais quente um corpo, maior sua agitação molecular. Observa-se que do ponto de vista subjetivo a temperatura está associada a uma sensação térmica de quente e frio. Porém, esta sensação não é suficiente para se afirmar que um corpo está quente ou frio, pois nossa sensação é relativa. (Silva, 2003).

Em sistemas de refrigeração e ar-condicionado é muito utilizado o conceito de temperatura de bulbo seco (TBS), e temperatura de bulbo úmido (TBU) (Silva, 2003).

- Temperatura de bulbo seco (TBS) – Essa temperatura é medida com auxílio de termômetro comum com proteção contra a radiação.
- Temperatura de bulbo úmido (TBU) – Temperatura mínima em que a água se evapora naquele momento. Essa temperatura é medida com auxílio de

termômetro comum com proteção contra radiação, coberto por uma mecha molhada.

A TBU demonstra a quantidade de água presente no ambiente medido. A quantidade de água que pode evaporar da mecha molhada para ar depende completamente da quantidade de vapor de água presente inicialmente no ar que passa pelo bulbo úmido. Se o ar que passa pelo bulbo úmido já estivesse saturado com umidade, não evaporaria nenhuma água da mecha para o ar e não haveria resfriamento no termômetro de bulbo úmido. Neste caso a TBU seria igual a TBS (Silva, 2003).

#### 2.4.1.1.1 Umidade relativa

Representa a relação entre pressão parcial de vapor de água presente no ar ( $p_v$ ) e a pressão de saturação do mesmo a uma mesma temperatura ( $p_{sat}$ ). Na figura 16 ilustra-se a obtenção da umidade relativa numa carta psicométrica. A pressão de saturação ocorre quando se tem o máximo possível de vapor de água dissolvido no ar a uma dada temperatura. Neste caso, diz-se que o ar está saturado e adota-se esta condição para o cálculo da umidade relativa. (Silva, 2003).

Calculada conforme:

$$\phi = \frac{p_v}{p_{sat}} \times 100 [\%] \quad (1)$$

#### 2.4.1.2 Umidade absoluta

A umidade absoluta é a relação entre a massa de vapor de água presente no ar e a massa de ar seco, ou de maneira mais simples, umidade absoluta é a quantidade de vapor de água dissolvida em 1 kg de ar seco. (Silva, 2003)

Analiticamente, pode-se calcular a umidade absoluta presente no ar através da expressão:

$$w = 0,622 \frac{p_v}{p_t - p_v} [kg/kg_{ar\ seco}] \quad (2)$$

Onde:

- $p_v$  é a pressão parcial de vapor de água no ar;
- $p_t$  é a pressão total;

### 2.4.1.3 Pressão

A pressão que atua em um ponto de um fluido é igual em todas as direções e pode ser definida pela componente normal da força aplicada por unidade de área de superfície. Equipamentos como manômetros medem a pressão tomando a pressão atmosférica como referência. A essa medida dá-se o nome de pressão manométrica. É conveniente deixar claro que a unidade de pressão, o pascal (Pa), vem da sua própria definição, ou seja, força (expressa em Newton) dividida pela área (expressa em metros quadrados). (Silva, 2003)

### 2.4.1.4 Calor Específico

Calor específico é a quantidade de calor necessário para elevar a temperatura de uma unidade de massa de um corpo. Em unidades métricas, foi definido historicamente como a quantidade de calor, em kcal, necessário para elevar a temperatura de 1 kg de um determinado corpo em 1°C. Pela própria definição das unidades de quantidade de calor, o calor específico da água é 1,0 kcal/(kg. °C).

O calor específico indica a facilidade ou dificuldade de uma substância para sofrer variações de temperatura, quando a ela é adicionado ou retirado calor. Se há grande resistência à variação da temperatura, isso significa que o corpo tem elevado calor específico, como ocorre com a água. Na tabela 03, verifica-se o calor específico de algumas substâncias.

Tabela 03 – Calor específico para diversas substâncias (Temperatura ambiente).

Substância	Calor específico (kcal/(kg.°C))	Calor específico (kJ/(kg.°C))
Cobre	0,032	0,134
Alumínio	0,22	0,921
Água no estado líquido	1,00	4,186
Água no estado sólido	0,5	2,093
Água no estado vapor	0,48	2,010

Fonte: (Silva, 2003)

### 2.4.1.5 Entalpia Específica

A entalpia específica é muito utilizada para indicar o nível de energia de uma substância. Em psicometria utiliza-se geralmente a variação de entalpia envolvida nos processos de tratamento de ar. Se uma transformação ocorre apenas através da transferência de energia

térmica, pela primeira lei da termodinâmica pode-se obter a variação de entalpia como sendo igual à variação do calor adicionado ou removido.

Para fins de cálculos psicométricos, a entalpia de uma mistura de ar seco e vapor de água é a soma das entalpias dos componentes. Para o ar atmosférico, a referência é a entalpia zero para temperatura de 0°C. Pode-se escrever desta forma que a entalpia do ar é igual a entalpia do ar seco somada a entalpia do vapor de água.

Conforme equação a seguir:

$$h = (c_p \cdot TBS) + (w \cdot h_v) \quad (3)$$

Onde:

- $c_p$  – Calor específico do ar a pressão constante;
- $TBS$  – Temperatura de bulbo seco;
- $w$  – Umidade absoluta;
- $h_v$  – Entalpia do vapor saturado à temperatura do ponto de orvalho

Para a maioria das aplicações, pode-se adotar uma simplificação desta equação, observando-se que o calor específico do ar varia pouco na faixa de 0°C a 50°C. Este valor mantém entre 1,006 e 1,009 kJ/kg. Podemos escrever:

$$h = 1,007 \cdot TBS + w(2501 + 1,805 \cdot TBS)[kJ/kg] \quad (4)$$

## 2.4.2 Psicrometria

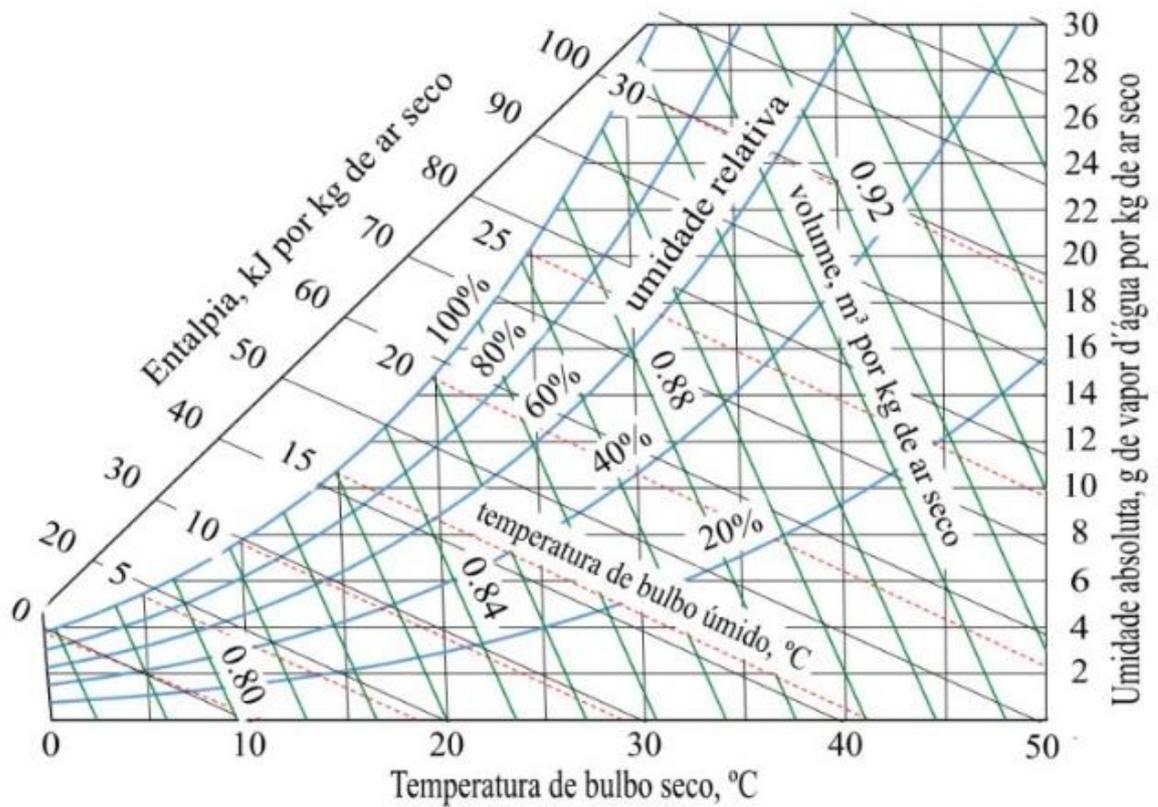
É a ciência que estuda o envolvimento das propriedades do ar úmido e do processo (secagem, umidificação, resfriamento, aquecimento) na mudança da temperatura ou do conteúdo de vapor d'água da mistura (Apostila de Psicrometria – USP, 1991).

O conhecimento das condições de umidade do ar é de grande importância para muitos setores da atividade humana, como o dimensionamento de sistemas para acondicionamento térmico, a conservação de alimentos, os sistemas de refrigeração ou a estimativa de tempo e energia requeridos por processos de secagem, umidificação, resfriamento e armazenamento e processamento de grãos (Apostila de Psicrometria – USP, 1991).

Na figura 20, temos o diagrama – carta psicrométrica, onde são representadas as propriedades termodinâmicas do ar. As grandezas representadas no diagrama são:

- Temperatura de bulbo seco – TBS – °C ou F;
- Temperatura de bulbo úmido – TBU – °C ou F;
- Umidade relativa do ar – (UR) - %;
- Umidade absoluta do ar (W) – lb vapor/lb ar seco, ou gramas vapor/lb ar seco ou grama (g) vapor/kg de ar seco.

Figura 20 – Carta Psicrométrica – Grandezas Termodinâmicas



Fonte: Shapiro et al, Modificado. (2013).

### 3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Os procedimentos metodológicos são ferramentas que auxiliam na realização sistemática de uma pesquisa e vem sendo utilizada há muitos anos, dando suporte e formulação adequada para tais.

A seguir serão descritas as técnicas de coleta de dados.

#### 3.1 TÉCNICA DE COLETA DE DADOS

As técnicas de coletas de dados são procedimentos utilizados para reunir informações, após definir os objetivos a serem alcançados e montar uma estratégia. A seguir serão apresentadas as técnicas de coleta de dados utilizadas na realização deste estudo.

Para essa pesquisa foi utilizada a pesquisa bibliográfica e a observação de estudos de caso. Para pesquisa vamos focar mais em livros e documentos de equipamentos, para melhor explicar sobre esse conteúdo.

Segundo Marconi e Lakatos (2019, p. 32) pesquisa bibliográfica é:

Pesquisa bibliográfica é um tipo específico de produção científica: é feita com base em textos, como livros, artigos científicos, ensaios críticos, dicionários, enciclopédias, jornais, revistas, resenhas, resumos. Hoje, predomina entendimento de que artigos científicos constituem o foco primeiro dos pesquisadores, porque é neles que se pode encontrar conhecimento científico atualizado, de ponta. Entre os livros, distinguem-se os de leitura corrente e os de referência.

Como cita o autor (2019) a pesquisa bibliográfica é mais que livros, ele diz que a importância maior, para obter dados atualizados, seriam os artigos científicos.

Nessa pesquisa além de serem utilizadas referências bibliográficas, iremos utilizar a pesquisa exploratória, que em geral assume as formas de pesquisas bibliográficas e estudo de caso. É um levantamento bibliográfico sobre o assunto prático, Pradanov e Freitas (2013, p.53).

Nesse trabalho de conclusão de curso vamos tornar as referências bibliográficas em um estudo de campo, colocando-as em prova e dessa forma demonstrando a sua eficácia.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Neste documento iremos propor uma metodologia capaz de analisar a eficiência energética em sistemas de ar-condicionado que utilizam adicionalmente o controle entálpico na tentativa de tornar o sistema mais eficiente energeticamente. Para realizar o estudo definimos utilizar o empreendimento Fort Atacadista no Município de Tubarão - SC, onde há instalado o modelo de obra que se encaixa neste desenvolvimento.

Foram realizadas visitas técnicas entre os dias 21 e 25 do mês de abril de 2022, no intuito de realizar o levantamento técnico dos dados da instalação, como modelo, capacidade, e fotos dos equipamentos instalados, e como veremos mais a frente, para instalar um analisador de energia Embrasul RE-4000, que ficou coletando dados do funcionamento do sistema de climatização entre os dias 23 e 25 do mesmo mês e ano.

### 4.1 APRESENTAÇÃO DA PROPONENTE

O Fort Atacadista, supermercado sediado na Marginal da BR-101, Km 335 do bairro Humaitá localizado na cidade de Tubarão em Santa Catarina, foi inaugurado no dia 28 de novembro do ano de 2018. Seu horário de funcionamento, desde então, é de segunda a sábado das 6:30h até as 22:00h e nos domingos e feriados das 07:30h às 21:00h

Conta com 16 mil m<sup>2</sup> de área construída, sendo que 5 mil m<sup>2</sup> é destinado ao setor de vendas, e os 11 mil m<sup>2</sup> restantes estão distribuídos de forma a atender o estoque, docas e vagas de estacionamento.

Para realizar a climatização de toda a área, 5 mil m<sup>2</sup>, contida o salão de vendas, o supermercado conta com uma capacidade instalada de 280 TR, ou seja, 3.360.000 Btu/h, além do sistema de climatização o supermercado também conta em sua instalação com a adição do sistema de controle entálpico, composto por exaustores com capacidade de exaurir 102.000 m<sup>3</sup>/h de ar.

### 4.2 APRESENTAÇÃO DA INSTALAÇÃO

#### 4.2.1 Apresentação do sistema ar-condicionado

O sistema de ar-condicionado instalado no supermercado Fort Atacadista de Tubarão, foi dimensionado e projetado para ser do tipo expansão direta, conectados diretamente aos seus

ramais de dutos, ou seja, cada equipamento conta com seu ramal de duto de distribuição exclusivo, ver figura 21a. Como são de expansão direta, também há a unidade condensadora, formando assim o conjunto de ar-condicionado, ver figura 21b.

Figura 21 – (a) Unidades Evaporadores instaladas com dutos – (b) Unidades Condensadoras:



(a)



(b)

Fonte: Autores (2022).

#### 4.2.2 Apresentação do sistema entálpico

O supermercado em questão, tem somado em seu projeto de climatização o sistema entálpico, ver figura 22, capaz de realizar troca de calor entre o salão de vendas e o ar externo, utilizando a teoria da termodinâmica, entalpia do ar externo.

Figura 22 – Exaustores: Sistema entálpico



Fonte: Autores (2022).

Para realizar a verificação das características térmica do ar externo e realizar a chamada do sistema de forma automática, temos o quadro de automação do sistema entálpico, composto por controladores lógicos programáveis ver figura 23.

Figura 23 – Quadro de automação



Fonte: Autores (2022).

#### 4.2.3 Apresentação do sistema de distribuição elétrica

Por fim, apresentamos o QDAC – Quadro de distribuição do ar-condicionado, responsável por receber os cabos de alimentação vindo do QGBT - Quadro geral de baixa tensão instalado na subestação. É do QDAC que deriva toda a distribuição de circuitos referente aos 7 aparelhos de ar-condicionado do salão de vendas, ver foto 24 e vai para o QFAC – Quadro de força do ar-condicionado, responsável por receber o circuito que vem do QDAC, protege apenas 1 conjunto de ar-condicionado, cada conjunto tem o seu QFAC, como mostrado na figura 25.

Figura 24 – QDAC: Quadro elétrico de distribuição do ar-condicionado



Fonte: Autores (2022).

Figura 25 – QFAC: Quadro elétrico de força do ar-condicionado



Fonte: Autores (2022).

#### 4.2.4 Lógica de funcionamento dos sistemas

No verão e quando a temperatura interna na área de vendas estiver acima de 24° C, o sistema de climatização irá operar na função refrigeração. Durante o período de funcionamento do supermercado, cada conjunto de ar-condicionado tem sua própria lógica de operação. A operação é controlada por termostatos eletrônicos, sua função é colocar o compressor em funcionamento toda vez que a temperatura interna da área de vendas estiver acima de 24°C, desde que o equipamento na presente nenhuma falha.

No inverno e quando a temperatura interna na área de venda do mercado estiver acima de 24°C, o sistema entálpico verifica as condições externas do ar. A verificação é realizada através dos sensores de temperatura e umidade instalados externamente a edificação, ver figura 26, caso a entalpia kJ/kg do ar externo esteja abaixo do *set-point* desejado, ver tabela 6a e 6b, o sistema entálpico, quando habilitado, é ligado. O CLP é quem faz o cálculo e toma as decisões, realizando as seguintes etapas:

- A. Se os compressores dos ar-condicionados estiverem ligados, todos os 14 compressores serão desabilitados, enquanto o sistema entálpico estiver ativo;
- B. Venezianas motorizadas instaladas na parede que divide o lado externo - ar externo com o lado interno - casa de máquinas, são abertos para captar o ar externo;
- C. Permanecerá ativo apenas os ventiladores dos ar-condicionados, para realizar a movimentação do ar externo para dentro da área interna da loja;
- D. As caixas de exaustão, serão ligadas para realizar a retirada do ar interno da área de venda e exaurir para fora – área externa;

O controlador executa as verificações e tomadas de decisão de forma contínua, e assim que as características entálpicas do ar ficarem acima do set-point mais histerese, ele retoma o funcionamento normal do sistema de climatização, habilitando os compressores, fechando as venezianas e desligando o sistema de exaustão.

Figura 26 – Sensor externo de Temperatura e Umidade



Fonte: Autores (2022).

### 4.3 DADOS DO LEVANTAMENTO

#### 4.3.1 Projeto

O projetista dimensionou a instalação de 7 equipamentos de ar-condicionado com capacidade de refrigeração de 40 TR cada, o equipamento é composto por 1 módulo evaporador e 2 módulos condensador com 20 TR cada. Somado aos equipamentos de ar-condicionado, temos 3 exaustores com capacidade de troca de 34000 m<sup>3</sup>/h. Na tabela 04, temos todos os dados de refrigeração, e dados elétricos dos equipamentos, essas informações foram retiradas das placas de identificações de cada equipamento.

Tabela 04 – Dados de fábrica dos equipamentos

<b>Módulo Evaporador</b>		RVT400CXP
Capacidade	TR	40
Pot. Motor	kW	7,5
Tensão 3F+T	V	380
<b>Módulo Condensador</b>		RAS24FSNS7B
Capacidade	TR	20
Pot. unidade	kW	18,87
Tensão 3F+T	V	380
<b>Caixa de Exaustão</b>		CSD710/3
Capacidade	m <sup>3</sup> /h	34000
Pot. Motor	kW	4,5
Tensão 3F+T	V	380

Fonte: Autores (2022)

### 4.3.2 Visita técnica

O sistema de climatização foi projetado para funcionar em sua capacidade máxima, na função refrigeração na maioria do tempo, mais provável nos períodos mais quente do ano, janeiro, fevereiro e março. O sistema entálpico que é habilitado automaticamente, foi projetado para ligar entre os períodos de inverno, junho, julho e agosto períodos mais frio do ano, e que contam com características do ar, temperatura e umidade, que ajudam na troca térmica entre o ambiente interno e externo do salão de vendas. Na tabela 05, veremos a média de temperatura e umidade relativa compreendido entre 12 meses do ano de 2021 na cidade de Tubarão.

Tabela 05 – Média de Temperatura e Umidade

Meses	Temperaturas (°C)			Umidade (%)	Horas de Sol (h)
	Média	Mínima	Máxima		
<b>Janeiro</b>	24,6	21,6	28	77	8,5
<b>Fevereiro</b>	24,6	21,7	28,1	78	8,5
<b>Março</b>	23,7	20,9	27,1	78	7,7
<b>Abril</b>	21,6	18,6	25,1	87	7,5
<b>Mai</b>	18,3	15,4	21,7	77	7
<b>Junho</b>	16,4	13,4	20,3	80	7
<b>Julho</b>	15,6	12,4	19,5	82	7,1
<b>Agosto</b>	16,7	13,4	21	78	7,4
<b>Setembro</b>	18	15,1	21,7	77	7,1
<b>Outubro</b>	19,9	17,2	23,3	77	7,2
<b>Novembro</b>	21,4	18,5	25	75	8,1
<b>Dezembro</b>	23,4	20,4	27	75	8,6

Fonte: Climate Data (2021).

Podemos explicar teoricamente a eficiência energética em sistemas de ar-condicionado que utilizam controle entálpico, realizando a relação das equações (2) e (4) para encontrar a entalpia do ambiente, sendo que teremos como pontos de entrada nas expressões as variáveis de temperatura e umidade do ar externo e ar interno, veremos essa comparação na tabela 06, gerada a partir do cruzamento das informações.

Tabela 06 – Comparativo entálpico: (a)-Ar externo x (b)-Ar interno

(a)Tabela entalpia Ar externo							
Para RH:	82	%					
Temp. (°C)	18	17	16	15	14	13	13
Umid (%)	82	82	82	82	82	82	82
Entalpia (Kj/Kg)	44,87	42,18	39,59	37,09	34,67	32,34	32,34

(b)Tabela entalpia - Ventilação Retorno							
Para RH:	60	%					
Temp. (°C)	19	21	22	23	24	25	26
Umid (%)	60	60	60	60	60	60	60
Entalpia (Kj/Kg)	39,90	44,73	47,26	49,89	52,61	55,42	58,34

Fonte: Autores (2022)

Avaliando as duas tabelas, percebemos que o valor energético na tabela 6(a), é menor do que a tabela 6(b), levando em consideração os dados de temperatura e umidade do ar. Isso significa que o ar externo tem pouca energia entálpica enquanto o ar interno tem mais energia entálpica, é devido a essa diferença que conseguimos realizar uma parcela de refrigeração no ambiente interno, utilizando apenas troca do ar externo com o ar interno. Com essa utilização percebemos que parte do sistema de climatização permanece desabilitado durante a operação do controle entálpico. Sendo assim, consumindo teoricamente menos energia elétrica em kW.h.

### 4.3.3 Dados coletados

Para realizar a coleta dos dados em tempo real, foi utilizado um analisador de energia capaz de gravar durante o período da análise todos os dados necessários para avaliarmos, este equipamento é da marca Embrasul, modelo RE4000, ver figura 27, ponteira de medição de tensão em conjunto com transdutores de corrente TC, sendo que com esses acessórios instalados, teremos condições de avaliar os dados elétricos de tensão (V), corrente (i), potência (W), energia consumida no período (kW.h).

Figura 27 – Analisador RE4000

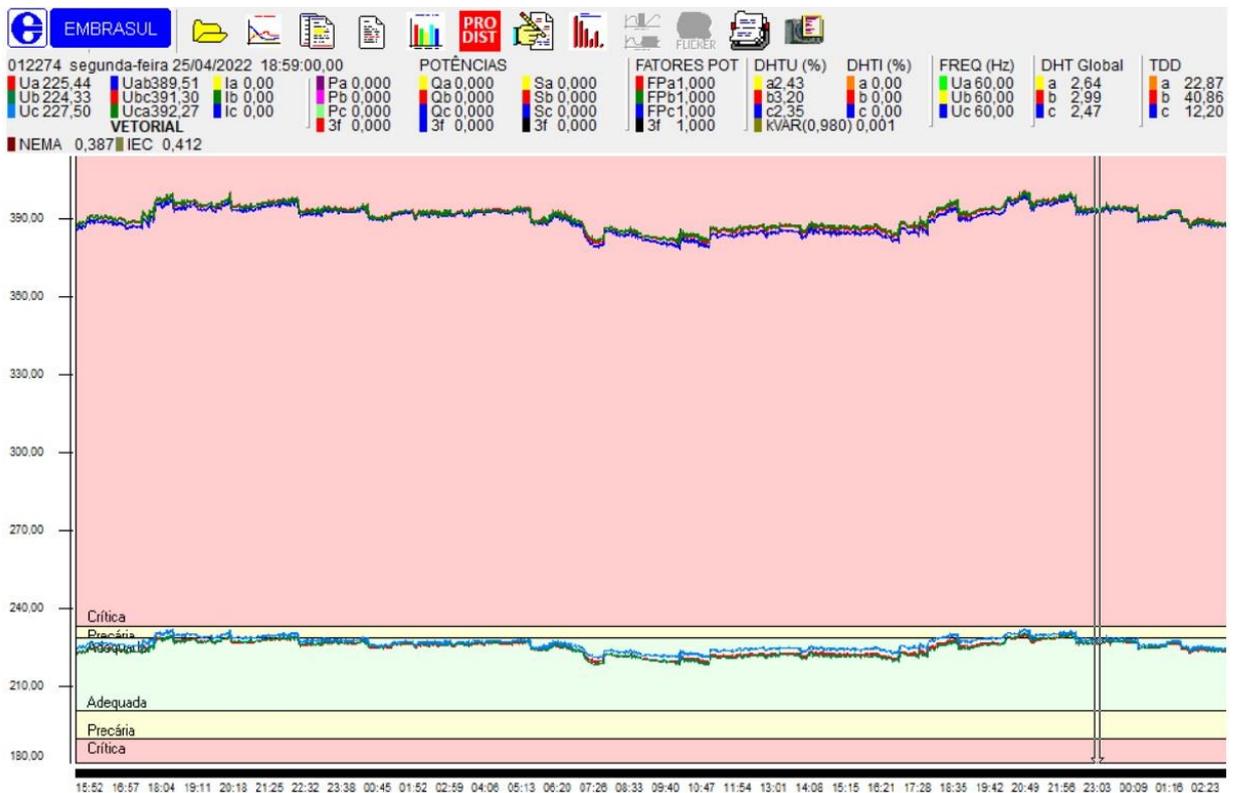


Fonte: Autores (2022)

#### 4.3.3.1 Dados coletados – Não tratados

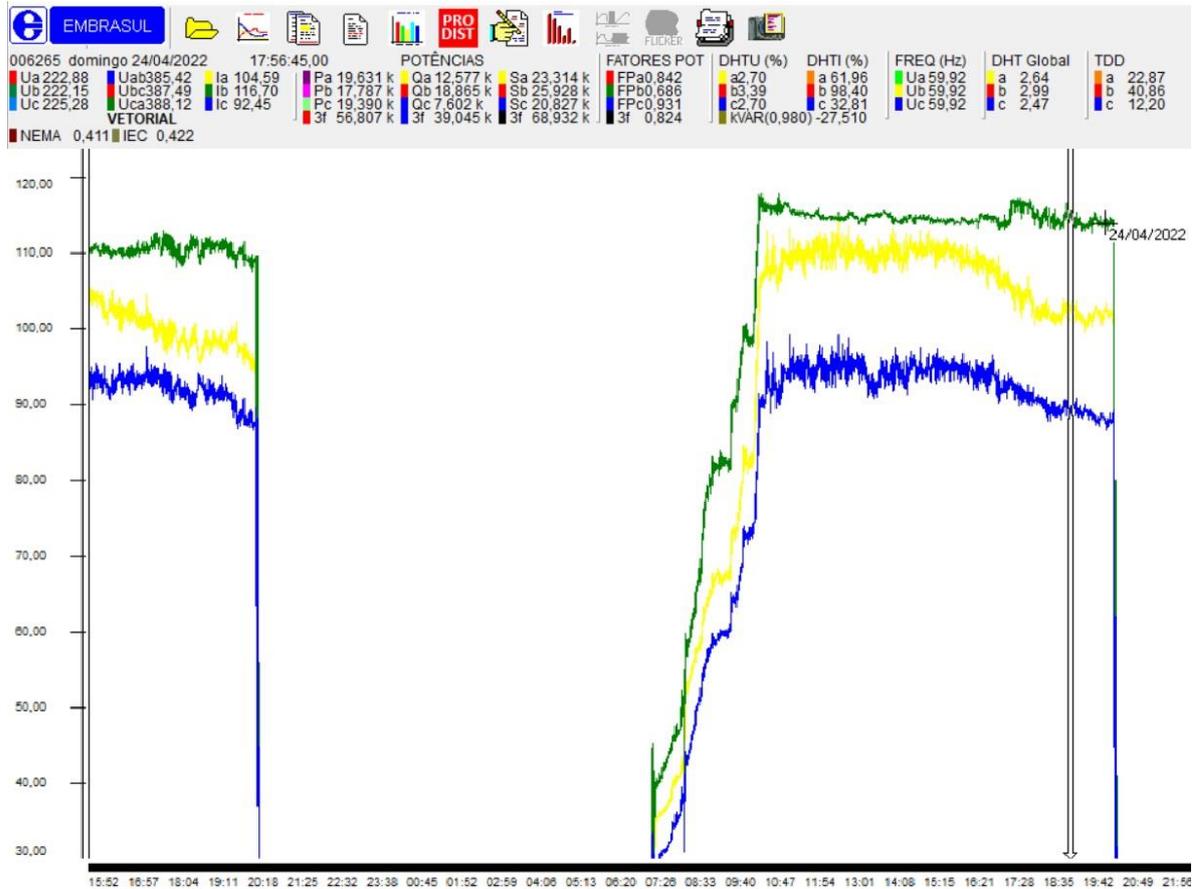
Ao realizar a medição foi utilizado o *software* ANL6000, para baixar os dados coletados no analisador RE4000, o *software* forneceu dados demonstrando o comportamento das variáveis tensão (V) ver foto 28 e corrente (i) ver foto 29, durante todo o período coletado, sendo que o tempo configurado para amostragem é de 15s entre as medições.

Figura 28 – Dados de Tensão (v) – Não tratados



Fonte: Autores (2022)

Figura 29 – Dados de Corrente (i) – Não tratados



Fonte: Autores (2022)

#### 4.3.3.2 Dados coletados - Tratados

Como previsto em nossa fundamentação teórica, iremos transpor os dados obtidos para uma planilha que se assemelha ao formato apresentado pela PIMVP, ver tabela 07.

Para melhor analisar as medições utilizamos uma delimitação com 4 (Quatro), horários por dia, neste caso, definimos os mais apropriados sendo os horários próximos as 08:00h, 12:00h, 15:30h e 20:00h. Foi definido o critério para escolha destes horários, levando em consideração os períodos de transição entre ligado, logo após ser ligado o ar-condicionado às 07:30h o sistema precisa sair da inercia térmica para atender o salão de vendas, para tal, necessita de mais potência de refrigeração TR, este caso acontece próximo às 08:00h, os próximos 2 (dois) horários escolhidos, 12:00h e 15:00h foi levado em consideração a maior incidência solar e por fim, o horário das 20:00h, onde o sistema está operando em regime, ou seja, temperatura estabilizada, sem insolação e período noturno.

Tabela 07 – Dados obtidos no levantamento

Medição Energia Elétrica						
Ponto	Dia	Hora	(V <sub>ab</sub> )-(I <sub>a</sub> )	(V <sub>bc</sub> )-(I <sub>b</sub> )	(V <sub>ca</sub> )-(I <sub>c</sub> )	kW.h
1	23/abr	15:50	Início da análise			247,6
	23/abr	15:51	385 - 104,06	387 - 110,0	387 - 92,09	
	23/abr	20:34	394 - 41,07	396 - 46,79	396 - 36,97	
	24/abr	08:00	379 - 36,96	381 - 43,25	381 - 31,35	667,36
	24/abr	12:00	383 - 111,0	385 - 115,0	385 - 95,23	
	24/abr	15:00	385 - 109,0	386 - 114,0	387 - 94,06	
	24/abr	20:30	393 - 69,87	395 - 80,01	395 - 62,03	
	25/abr	08:30	381 - 78,90	382 - 87,54	384 - 64,40	180,98
	25/abr	11:00	385 - 120	386 - 118,87	387 - 100,92	
	25/abr	11:03	Ar-condicionado Desligado			
	25/abr	19:00				

Fonte: Autores (2022)

Parte dos dados apresentados na tabela 07, foram extraídos com maior precisão do relatório de consumo diário, que o *software* ANL6000 fornece de forma nativa, conforme detalhado na figura 30.

Figura 30 – Relatório de consumo energético diário

EMBRASUL RE4000/B/H N.S:96404377 V.S.1.55 ANL 3,04 (15 segundos)

**RELATÓRIO DIÁRIO (Integração = 15 segundos)****Intervalo considerado:**

sábado 23/04/2022 15:50:50,00 até segunda-feira 25/04/2022 19:02:15,00

**Faixas de horário estabelecidas no software**

Intervalo - Fora de ponta: 06:00 - 18:00 21:00 - 24:00

Intervalo - Ponta: 18:00 - 21:00

Intervalo - Reservado: 00:00 - 06:00

**SÁBADO 23/04/2022**

Horário	Consumo [kWh]	Geração [kWh]	Reativa [kVArh]	FP
Ponta	0,000	0,000	0,000	1,000 ind
Fora de ponta	247,622	0,000	195,017	0,786 ind
Reservado	0,000	0,000	0,000	1,000 ind
<b>Total</b>	<b>247,622</b>	<b>0,000</b>	<b>195,017</b>	<b>0,786 ind</b>

Demandas máximas por horário

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]
23/04/2022 18:46:45,00 53,902	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	01/01/0001 00:00:00,00 0,000
23/04/2022 18:47:15,00 53,896	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	01/01/0001 00:00:00,00 0,000
23/04/2022 18:46:30,00 53,813	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	01/01/0001 00:00:00,00 0,000

Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]
23/04/2022 17:25:45,00 44,159	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	01/01/0001 00:00:00,00 0,000
23/04/2022 16:41:45,00 44,157	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	01/01/0001 00:00:00,00 0,000
23/04/2022 16:18:15,00 44,034	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	01/01/0001 00:00:00,00 0,000

**DOMINGO 24/04/2022**

Horário	Consumo [kWh]	Geração [kWh]	Reativa [kVArh]	FP
Ponta	0,000	0,000	0,000	1,000 ind
Fora de ponta	665,789	0,000	449,627	0,829 ind
Reservado	1,576	0,000	-8,197	-0,189 cap
<b>Total</b>	<b>667,365</b>	<b>0,000</b>	<b>441,430</b>	<b>0,834 ind</b>

Demandas máximas por horário

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]
24/04/2022 17:57:15,00 64,740	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	24/04/2022 04:43:15,00 0,409
24/04/2022 11:10:45,00 58,355	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	24/04/2022 02:27:00,00 0,408
24/04/2022 10:38:30,00 58,337	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	24/04/2022 02:15:15,00 0,408

Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]
24/04/2022 12:49:45,00 44,784	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	24/04/2022 00:43:15,00 -1,389
24/04/2022 12:49:30,00 44,361	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	24/04/2022 00:51:00,00 -1,388
24/04/2022 13:08:30,00 44,314	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	24/04/2022 00:44:15,00 -1,387

**SEGUNDA-FEIRA 25/04/2022**

Horário	Consumo [kWh]	Geração [kWh]	Reativa [kVArh]	FP
Ponta	0,000	0,000	0,000	1,000 ind
Fora de ponta	179,492	0,000	111,281	0,850 ind
Reservado	1,491	0,000	-8,059	-0,182 cap
<b>Total</b>	<b>180,983</b>	<b>0,000</b>	<b>103,223</b>	<b>0,869 ind</b>

Demandas máximas por horário

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]
25/04/2022 08:43:00,00 61,846	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	25/04/2022 02:00:45,00 0,405
25/04/2022 08:43:15,00 61,664	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	25/04/2022 02:01:00,00 0,405
25/04/2022 08:42:45,00 61,627	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	25/04/2022 02:00:00,00 0,405

Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]
25/04/2022 10:22:00,00 45,418	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	25/04/2022 00:07:00,00 -1,378
25/04/2022 10:21:45,00 45,246	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	25/04/2022 00:42:45,00 -1,377
25/04/2022 10:41:45,00 45,037	01/01/0001 00:00:00,00 0,000	25/04/2022 00:07:45,00 -1,375

Fonte: Software ANL6000 (2022)

#### 4.4 PROBLEMAS ENCONTRADOS

Durante os trabalhos de coletas de dados “*In-loco*”, realizamos inspeções, apenas visuais, no sistema de ar-condicionado e entálpico do Supermercado Fort Atacadista de Tubarão, e não pudemos deixar de notar que necessitam serem realizadas algumas manutenções preventivas e corretivas nos equipamentos de ar-condicionado e entálpico como:

- A substituição de filtros de ar, manta tipo G4 para filtração do ar que retorna do salão de vendas, assim como a instalação de molduras de aço para sustentar de forma adequada a manta G4, ver figura 31;

Figura 31 – Manta G4 suja e falta de moldura



Fonte: Autores (2022)

- Limpeza interna nos quadros elétricos de força e automação;
- Limpeza e substituição de alguns componentes, periféricos, como sensores de temperatura e umidade que estão operando fora de faixa ou inoperante, ver figura 32.

Figura 32 – Limpeza dos sensores de temperatura e umidade



Fonte: Autores (2022)

- Regular corretamente a temperatura de set-point em 24°C no termostato digital, ver figura 33, conforme previsto no projeto e regido na ASHRAE- *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*.

Figura 33 – Termostato digital com *Set-point*



Fonte: Autores (2022)

- Sistema entálpico desabilitado no quadro de automação e desligado ver figura 34, provavelmente devido a falha do sensor de temperatura e umidade, mostrado na figura 32.

Figura 34 – Sistema entálpico desabilitado



Fonte: Autores (2022)

Em resumo, todo este estudo de caso apresentado é fundamentado pela tabela 06, esta tabela explica a eficiência energética no sistema, sendo que, podemos perceber que existe uma diferença de energia térmica entre o ar externo com baixa energia, e o ar interno com alta energia térmica, se comparados entre si. A energia entálpica resultante da combinação de ar dessas duas condições, baixa energia e alta energia térmica, fornece um valor entálpico intermediário de equilíbrio térmico, esse valor kJ/kg obtido, fica entre os dois valores apresentado nas tabelas 6a e 6b, justificando teoricamente uma eficiência energética.

Como sabemos, entalpia é uma propriedade que indica o nível de energia, e é caracterizada por temperatura e umidade, e neste caso, está diretamente ligada ao consumo da energia elétrica, pois se consome menos energia elétrica (kW.h), para resfriar um ar que tem menor energia do que um ar que tem maior energia.

## 5 CONCLUSÃO

De acordo com o estudo de caso apresentado e levando, em consideração as análises e fatores abordados, quanto a apresentação de uma metodologia para aferição e verificação da eficiência energética em sistemas de ar-condicionado que utilizam controle entálpico esta metodologia obteve um resultado positivo. Conseguimos observar que a metodologia escolhida iria nos fornecer um resultado positivo, se o sistemas de climatização estivesse operando como um sistema de conforto. O estudo final em campo se demonstrou inconclusivo ou falho, devido a utilização inadequada dos sistemas de climatização e controle entálpico.

Para extrair um resultado conclusivo através da metodologia apresentada e testada em campo, o sistema de ar-condicionado juntamente com o sistema entálpico instalados na edificação abordada neste estudo no qual foi aplicado este método, deveria estar em conformidade com sua manutenção preventiva e corretiva. O sistema de ar-condicionado que contém um desbalanceamento mecânico por conta da falta de cuidados com manutenção, não apresentará uma eficiência energética satisfatória, e sim, um consumo excessivo da energia elétrica em kWh.

Outro ponto que podemos destacar para a inconclusão do resultado, foi devido ao fato do sistema entálpico estar fora de operação, ou seja, desabilitado pelo operador, e mesmo que este estivesse habilitado, não iria entrar em operação, pois as condições de temperatura do período climático - mês de abril, não favorecem a utilização do ar externo para o sistema ser ligado. Sendo assim, não tivemos como realizar neste período a aferição e medição das variáveis de consumo do sistema de climatização operando com o sistema entálpico ativado, os dados e variáveis obtidos nos 3 dias de levantamento foram referentes apenas do sistema de climatização.

Portanto, para este método ser totalmente validado, os pontos de manutenção preventiva e corretiva mencionados que estão em não conformidade, deverão ser regularizados, após isso, em período mais conveniente, meses mais frios do ano, compreendido entre Junho, Julho e Agosto, deverá ser realizado nova medição e verificação do sistema entálpico.

## 6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

A proposição de estudo utilizado neste trabalho foi voltada para o segmento de Supermercados Atacadistas, neste segmento o uso da climatização no inverno, não fica tão evidente, uma vez que, o ambiente a ser climatizado gera uma carga térmica baixa no período de inverno. O intuito de se climatizar um ambiente de loja, Supermercado Atacadista, é puramente para conforto térmico de pessoas.

A aplicação de sistema entálpico poderá ser mais acentuada em ambientes que tenham uma dissipação térmica indiferente do período do ano. Ambientes típicos e com características de dissipação térmica aos quais indefere do período do ano, são aqueles que necessitam de climatização voltado para salas de datacenter, estações de rádio transmissores e receptores, geralmente são ambientes utilizados por empresas do segmento de telecomunicações, como, telefonia móvel, telefonia fixa, emissoras de televisão, emissoras de rádios, aeroportos e grandes empresas que trafegam um volume de dados alto.

Com o intuito de aprimorar a metodologia empregada neste trabalho de conclusão de curso, sugerimos que em novos estudos, esta metodologia seja aplicada em locais que utilizam climatização para ambientes que geram cargas térmicas advinda de equipamentos de datacenter, iguais ao explorado no parágrafo anterior.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - **Guia de M&V**. Brasília – DF: ANEEL, 2013.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética** – PROPEE. 8 Módulos. Brasília – DF: ANEEL, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004. 209 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC60439: Conjuntos de Manobra e Controle de Baixa Tensão**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1: Instalação de Ar-Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários**. Rio de Janeiro, 2008.
- ASHRAE, *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. **Temperatura de Setpoint**. Disponível em: <https://www.ashrae.org>. Acesso em 25 de maio de 2022.
- CARRIER. **Manual de Instalação, Operação e Manutenção**. Disponível em: <<https://carrierdobrasil.com.br/blog/produtos>> Acessado em: 10 de abril de 2022.
- COPEL – COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA – **Manual de Eficiência Energética da Indústria** – Curitiba – PR: COPEL, 2005.
- CLIMATE. **Tabela de Temperatura e Umidade**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/>. Acesso em 10 de agosto de 2021.
- INFOESCOLA. **Refrigeração**. Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/refrigeracao> Acesso em 10 de maio de 2022.
- MANMEDE FILHO, João. **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS**. 8. ed. Rio de Janeiro: Gen, 2012. 665 p.
- MARCONI, Andrade, Marina, D. e LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**, 8ª edição. Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo GEN, 2017.
- MERCATO AUTOMAÇÃO. **Controladores**. Disponível em: <https://www.mercatoautomacao.com.br/collections/controladores>. Acesso em 18 de maio de 2022.
- MITCHELL, John W. **Princípios de Aquecimento, Ventilação e Condicionamento de Ar em Edificações**, James E. Braun – 1. ed. – Rio de Janeiro, 2018.
- MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N.; BOETTNER, Daisie D.; BAILEY, Margaret B. **Princípios de Termodinâmica para Engenheiros**. 7. ed. LTC, 2013.

NEOSOLAR. **Energias Renováveis ou Energias Alternativas**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energias-renovaveis-ou-energias-alternativas>. Acesso em 10 de maio de 2022.

ONS. **Escassez Energética**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20210707-escassez-hidrica-2021.aspx>. Acesso em 15 de maio de 2022.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: método e técnicas de pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade. **Eficiência Energética em Edifícios**, Libeu Belico dos Reis. Barueri, SP: Manole, 2012.

SILVA, Jesué Graciliano da. **Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização** – São Paulo, 2003.

SANTOS, Antonio Moreira; JUNIOR, Paulo Selegim. **FUNDAMENTOS DE PSICROMETRIA**, São Carlos, 1991.