

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

SAMUEL NUNES BRONI

**DIAGNOSTICO DE SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR CHILLER VISANDO A
MELHORIA DA EFICÊNCIA TÉRMICA DO SISTEMA**

MANAUS

2022

SAMUEL NUNES BRONI

**DIAGNOSTICO DE SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR CHILLER VISANDO A
MELHORIA DA EFICÊNCIA TÉRMICA DO SISTEMA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
bacharel em Engenharia Mecânica pela
Universidade do Estado do Amazonas (UEA)

Orientador: **Prof. Dr. Eduardo Rafael Barreda Del Campo**

MANAUS

2022

S193dd Broni, Samuel Nunes
DIAGNOSTICO DE SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO
POR CHILLER VISANDO A MELHORIA DA
EFICÊNCIA TÉRMICA DO SISTEMA / Samuel Nunes
Broni. Manaus : [s.n], 2022.
64 f.: color.; 31 cm.

TCC - Graduação em Engenharia Mecânica -
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2022.
Inclui bibliografia
Orientador: Del Campo, Eduardo Rafael Barreda

1. Conforto Térmico. 2. Chiller. 3. Carga Térmica.
4. Dutos. 5. Análise de Temperatura. I. Del Campo,
Eduardo Rafael Barreda (Orient.). II. Universidade do
Estado do Amazonas. III. DIAGNOSTICO DE SISTEMA
DE REFRIGERAÇÃO POR CHILLER VISANDO A
MELHORIA DA EFICÊNCIA TÉRMICA DO SISTEMA

SAMUEL NUNES BRONI

**DIAGNOSTICO DE SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR CHILLER VISANDO A
MELHORIA DA EFICIENCIA TÉRMICA DO SISTEMA**

Este Trabalho de Curso foi considerado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e aprovado em sua forma final pela comissão examinadora.

Manaus, 31 de Maio de 2022.

Banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Rafael Barreda Del Campo

Prof. Dr. Ricardo Wilson Aguiar da Cruz

Prof. Dr. João Evangelista Neto

Dedico este trabalho de conclusão de curso primeiramente a Deus, que me deu forças para não desistir da caminhada e a todos que me apoiaram no decurso de minha jornada acadêmica, aos meus pais Maria da Conceição Nunes Broni e Wamber de Souza Broni, minha esposa Sabrina Pereira Broni e minha filha Isadora que um dia lerá este degrau alcançado por mim em meio a todas as minhas demais conquistas que alcançarei.

AGRADECIMENTOS

No decorrer dos dias de elaboração e apresentação deste trabalho, notáveis pessoas me incentivaram, ajudaram e me apoiaram de forma incondicional, nem as mais bonitas palavras são suficientes para descrever minha imensa gratidão.

A começar, agradeço aos meus queridos amigos e colegas de faculdade: Davi Lopes e Ricardo Fabiano, de minha turma, Rodolfo Gomes da turma de Engenharia Naval, e Salomão Ramos, que mesmo de outra instituição de ensino, nunca mediu esforços para me ajudar, foram incontáveis noites de reuniões on-line para compartilhamento de conhecimento, levantamento de dúvidas, questionamentos e soluções.

Agradeço aos meus pais que me incentivaram e investiram em mim, tanto em transporte, como em acesso à internet e alimentação nesses anos de faculdade, assim como também à minha irmã e meu cunhado com quem estive por alguns anos em sua casa, no qual tiveram paciência em meus dias difíceis e que sempre estiveram ali com uma palavra franca e amiga.

Agradeço a minha esposa que nestes últimos anos esteve ao meu lado acreditando em mim e em meu potencial como futuro profissional e que me ajudou a redigir meus pensamentos neste trabalho, bem como a minha filha que ainda não nasceu, mas que fora meu grande incentivo nesta reta final, a visar um futuro bom para ela.

Agradeço a entidade Consórcio Shopping Ponta Negra, na pessoa de Elcimar Chagas Barros Filho, meu supervisor e coordenador do setor em que eu trabalhava que contribuiu diretamente para que eu pudesse desenvolver e concluir este trabalho.

Deixo também meus agradecimentos aos professores do curso de Engenharia Mecânica, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo Rafael Barreda Del Campo, que esteve de prontidão a sanar minhas dúvidas, a todos os funcionários e Coordenação, e aos demais colegas de curso, com os quais pude estabelecer uma convivência pessoal e intelectual ao longo de todo esse tempo.

Por fim, mas nunca, jamais, em hipótese alguma menos importante agradeço à Deus por ter sido minha força e alicerce em todas as áreas da minha vida, e a quem dedico todas as minhas vitórias.

“Até aqui o Senhor nos ajudou”

(1 Samuel 7:12)

RESUMO

O conforto térmico é definido pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*) como: “Uma condição mental que expressa satisfação com as condições térmicas do ambiente que é avaliado de forma subjetiva pelo indivíduo”. Os Shopping Centers São locais cuja as pessoas esperam ter um bom conforto térmico e com isso ter uma excelente experiência no Empreendimento.

O presente trabalho visa diagnosticar um sistema de Refrigeração por chiller com o intuito de melhorar a Eficiência térmica do Sistema, analisando todos os componentes do sistema, desde a produção de água gelada, até a saída de ar nos difusores. Primeiramente será realizado um estudo sobre cada componente para parametrizar a função e a importância do bom funcionamento de cada bloco do sistema de Refrigeração. A segunda etapa consiste em inspecionar cada componente visando comparar valores projetos x valores real mensuramos através de dispositivos eletroeletrônicos e sistema de telemetria dos Chillers. Após a segunda etapa será feito uma análise de temperatura no Mall para entendermos os pontos críticos do Empreendimento, a quarta etapa consistirá em realizar o cálculo de carga térmica na área com temperatura mais Elevada.

Após análises realizadas foi possível diagnosticar que a carga Térmica instalada não é suficiente para atender a demanda da praça(ponto mais critico após as análises de temperatura), além da carga térmica, A somatória das áreas de retorno é inferior ao necessário, foi encontrado Perda de carga no insuflamento devido a dimensão dos dutos flexíveis, assim como vazamentos nos Dutos de insuflamento. Foi realizado a viabilidade econômica para implantação de mais fancois na praça de alimentação assim como a substituição dos Difusores do modelo vat pelo modelo Due.

PALAVRAS- CHAVE: Conforto térmico. Chiller. Carga térmica. Dutos. Análise de Temperatura.

ABSTRACT

Thermal comfort is defined by ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) as: “A mental condition that expresses satisfaction with the thermal conditions of the environment that is subjectively evaluated by the individual”. Shopping Centers These are places where people expect to have good thermal comfort and with that to have an excellent experience in the Enterprise.

The present work aims to diagnose a cooling system by chiller in order to improve the Thermal Efficiency of the System, analyzing all the components of the system, from the production of chilled water, to the air outlet in the diffusers. First, a study will be carried out on each component to parameterize the function and importance of the proper functioning of each block of the Refrigeration system. The second step consists of inspecting each component in order to compare project values x actual values measured through electronic devices and the Chillers telemetry system. After the second stage, a temperature analysis will be carried out in the Mall to understand the critical points of the Enterprise, the fourth stage will consist of calculating the thermal load in the area with the highest temperature.

After the analyzes carried out, it was possible to diagnose that the thermal load installed is not enough to meet the demand of the square (most critical point after the temperature analysis), in addition to the thermal load, the sum of the return areas is lower than necessary, loss was found load in the supply due to the dimension of the flexible ducts, as well as leaks in the supply ducts. The economic feasibility was carried out for the implementation of more fans in the food court as well as the replacement of the Vat model Diffusers for the Due model.

PALAVRAS- CHAVE: Thermal Comfort. Chiller. Thermal load. Ducts. Temperature Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Chiller de Condensação à água.....	20
Figura 2 –	Chiller de Absorção.....	22
Figura 3 –	Chiller de Condensação a Ar.....	23
Figura 4 –	Fancoil.....	24
Figura 5 –	Bombas C.A.G.....	25
Figura 6 –	Torre Alpina.....	26
Figura 7 –	Dutos de Ventilação.....	27
Figura 8 –	Associação de Chillers do Sistema.....	29
Figura 9 –	Bombas Primarias.....	29
Figura 10 –	Bombas Secundarias C.A.G.....	30
Figura 11 –	Bombas Condensadas.....	30
Figura 12 –	TAG motores BAC e BAG.....	31
Figura 13 –	Dados Torres Alpinas.....	32
Figura 14 –	Variação de temperatura do Evaporador x Condensador Chiller.....	34
Figura 15 –	Sensor de Temperatura Sigmais.....	35
Figura 16 –	Monitoramento de temperatura L2.....	35
Figura 17 –	Monitoramento de temperatura L3.....	36
Figura 18 –	Monitoramento de temperatura L1.....	36
Figura 19 –	Temperatura L1 NOV/21.....	37
Figura 20 –	Temperatura L1 DEZ/21.....	37
Figura 21 –	Temperatura L1 JAN/22.....	37
Figura 22 –	Temperatura L1 FEV/22.....	38
Figura 23 –	Temperatura L1 MAR/22.....	38

Figura 24	–	Temperatura L1 ABR/22.....	38
Figura 25	–	Temperatura L1(Período de 6 Meses)	39
Figura 26	–	Temperatura L2 NOV/21	40
Figura 27	–	Temperatura L2 DEZ/21	40
Figura 28	–	Temperatura L2 JAN/22	40
Figura 29	–	Temperatura L2 FEV/22	41
Figura 30	–	Temperatura L2 MAR/22	41
Figura 31	–	Temperatura L2 ABR/22	41
Figura 32	–	Temperatura L2(Período 6 meses)	42
Figura 33	–	Temperatura L3 NOV/21.....	43
Figura 34	–	Temperatura L3 DEZ/21.....	43
Figura 35	–	Temperatura L3 JAN/22.....	43
Figura 36	–	Temperatura L3 FEV/22.....	44
Figura 37	–	Temperatura L3 MAR/22.....	44
Figura 38	–	Temperatura L3 ABR/22.....	44
Figura 39	–	Temperatura L3(Período de 6 Meses)	45
Figura 40	–	Temperatura TBS, TBU e UR.....	46
Figura 41	–	Área Vidro Lateral Direita.....	47
Figura 42	–	Área Vidro Lateral Esquerda.....	47
Figura 43	–	Área Clara Boia Americanas.....	48
Figura 44	–	Área Clara Boia Americanas.....	48
Figura 45	–	Área Clara Boia Cinepolis	48
Figura 46	–	Área Clara Boia Cinepolis	49
Figura 47	–	Área Vidro Posterior a Fachada Shopping.....	49
Figura 48	–	Área Claraboia Praça de Alimentação.....	49
Figura 49	–	Área Abertura Cinepolis	50

Figura 50 –	Área Praça de Alimentação.....	50
Figura 51 –	Instalação Atual dos Fancois Praça de Alimentação.....	52
Figura 52 –	Sugestão de Instalação de Fancois para suprir o Deficit.....	52
Figura 53 –	Difusores VAT x DUE	55
Figura 54 –	Difusor Due.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Temperatura Approach.....	33
Tabela 2	–	Temperatura Mensurada L1.....	39
Tabela 3	–	Temperatura Mensurada L2.....	42
Tabela 4	–	Temperatura Mensurada L3.....	45
Tabela 5	–	Cálculo de Carga Térmica.....	51
Tabela 6	–	Cálculo de Retorno Fancoil.....	53
Tabela 7	–	Cálculo de Retorno Casa de Máquinas 01.....	54
Tabela 8	–	Cálculo de Retorno.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASHRAE	Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento e Ar- Condicionado
PMOC	Plano De Manutenção, Operação E Controle
°C	Graus Celsius
°F	Graus Fahrenheit
Cop	Coeficiente De Desempenho
Cp	Calor Específico Da Água
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt Hora
\dot{M}	Vazão Da Água (M ³ /H)
TR	Tonelada De Refrigeração
BAC	Bomba de Água Condensada
BAG	Bomba de Gelada
BAG'p	Bomba de Gelada Primaria
BAG's	Bomba de água Secundaria

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	16
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....	16
2.1.	SISTEMA DE AR-CONDICIONADO	16
2.2.	SISTEMA DE ÁGUA GELADA	18
2.3.	CHILLER.....	19
2.3.1.	CHILLER DE CONDENSAÇÃO À ÁGUA.....	20
2.3.2.	CHILLER DE ABSORÇÃO	21
2.3.3.	CHILLER DE CONDENSAÇÃO A AR	22
2.4.	FANCOIS	23
2.5.	BOMBAS	24
2.5.1.	TORRES DE RESFRIAMENTO	25
2.6.	DUTOS	26
3.	METODOLOGIA.....	27
3.1.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE OS COMPONENTES DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR CHILLER.....	28
3.2.	INSPEÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO.....	28
3.3.	REVISÃO DE CARGA TÉRMICA	28
3.4.	AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE ECONÔMICA	28
3.5.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	28
4.	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS	28
4.1.	DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ÁGUA GELADA.....	28
4.2.	DISTRIBUIÇÃO DE AR NOS AMBIENTES.....	32
4.3.	ISOLAMENTO TÉRMICO.....	32
4.4.	TOMADAS DE AR EXTERNO	32
4.5.	ANÁLISE DE TEMPERATURA APPROACH	32
4.6.	ANÁLISE DE TEMPERATURA	34
4.7.	CONDIÇÕES TÉRMICAS PARA CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA DO SISTEMA	46
4.8.	A SOMATÓRIA DAS ÁREAS DE RETORNO É INFERIOR AO NECESSÁRIO	53
4.9.	SUBSTUIÇÃO DOS DIFUSORES DO MOLETO WAT PARA MODELO DUE.....	55
5.	SÍNTESE CONCLUSIVA.....	56
	REFEÊNCIAS.....	58
	ANEXO A – PLANTAS C.A.G E I3.....	59

ANEXO B – DADOS TÉCNICOS E FUNCIONAMENTO DIFUSOR DUE	60
ANEXO C – TABELAS PARA CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA.....	61

1. INTRODUÇÃO

O sistema de refrigeração é composto por peças e equipamentos dispostos de forma a regular o ar. Normalmente é necessário transportá-lo para um determinado espaço e controlar os parâmetros ambientais internos dentro da faixa necessária. Isso pode ser usado para fins de conforto humano ambiental ou industrial, que são necessários para a fabricação e armazenamento do produto.

Com o tempo, aumentou o uso de equipamentos, inclusive “chillers”, que representam um grupo de componentes que formam um único dispositivo. Isso o resfria ao absorver o calor da água por meio de um ciclo de refrigeração por absorção ou compressão de vapor. Usando essa água fria, você pode trocar calor com o meio ambiente. É a base do sistema de várias instituições de grande porte, entre elas Grandes Shopping Centers. Seus principais componentes são compressores, condensador, evaporador e dispositivo de expansão.

Os shoppings são locais onde são alugados espaços comerciais para abertura de lojas. O principal objetivo deste tipo de edifício é incentivar a visita dos clientes através da sua vasta oferta de lojas. Eles têm passarelas interligadas que permitem que os visitantes andem de uma loja para outra. Essas passagens geralmente têm ar-condicionado e são planejadas para fornecer o máximo conforto térmico. Segundo ASHRAE [1], o conforto térmico de uma pessoa pode ser definido como a satisfação psicológica com o meio ambiente.

Além disso, trata do controle de temperatura, umidade relativa e vazão de ar. Atualmente, também inclui o controle do índice de dióxido de carbono CO₂, a atualização do ar e o controle do material particulado. Foi instituído pela Lei nº 13.589 / 2018, denominada PMOC, e foi promulgado em janeiro de 2018.

O trabalho atual consiste em analisar o funcionamento e a eficiência térmica dos "chillers" que integram o sistema de climatização do Shopping. A análise é baseada na avaliação de eficiência térmica pura, comparando o coeficiente de desempenho em diferentes condições quando o refrigerador é colocado em operação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

2.1. SISTEMA DE AR-CONDICIONADO

Para a operação de um sistema de ar condicionado, é necessário um processo que execute várias atividades simultaneamente WANG, afirma que a maioria dos sistemas de ar condicionado executa as funções:

- Fornecimento de energia necessária de resfriamento e aquecimento.
- Tratamento do ar fornecido, isto é, aquecer ou esfriar, umedecer ou desumidificar, limpar e purificar, e atenuar qualquer ruído censurável produzido pelo equipamento.
- Distribuir o ar-condicionado, contendo suficiente ar externo, para o espaço condicionado. Controlar e manter parâmetros ambientais internos - como temperatura, umidade, limpeza, movimentação do nível sonoro e diferença de pressão entre os espaços condicionados e o ambiente - em limites pré-determinados.

Os sistemas de ar-condicionado mais comuns usam refrigeração por compressão de vapor, que consiste em um ciclo de quatro estágios:

- 1) Compressão do gás frio fazendo com que ele se torne gás quente de alta pressão através de um compressor;
- 2) Dessuperaquecimento e condensação do gás quente através de um trocador de calor;
- 3) Expansão do líquido, através de um dispositivo de uma válvula expansão que resultará em uma mistura de líquido e vapor a baixa pressão;
- 4) Evaporação total da mistura à baixa pressão, através de um trocador de calor que irá resfriar o ar a ser insuflado no ambiente condicionado.

A quantidade de calor a ser retirada do sistema a refrigerar, na unidade de tempo, toma o nome de potência frigorífica ou carga térmica de refrigeração e é medida em frigorias por hora. Na prática, a potência frigorífica é avaliada em Toneladas de Refrigeração, unidade que equivale à quantidade de calor a retirar da água a 0°C, para formar uma tonelada de gelo a 0°C, em cada 24 horas. Os sistemas de ar-condicionado podem ser categorizados por: expansão ou evaporação indireta e direta, quando o ar-condicionado extrai ar frio ou quente diretamente da sala ou dos dutos. Sistemas de expansão indireta, também conhecidos como sistemas de água gelada, onde um condicionador utiliza um meio intermediário para remover a carga que é transmitida pelo ar frio ou quente.

Cada um dos dois sistemas mencionados tem sua aplicação específica de expansão direta, para pequenas e médias instalações; é o de expansão indireta, para grandes instalações. Para locais maiores que 400 m², como shopping centers, bancos e indústrias, os sistemas self-container são mais adequados ou sistemas de água para instalação até 14 TR, máquinas com condensadores a ar podem ser usadas. Se for maior, a condensação a água deve ser usada, o que implica a instalação de torres de arrefecimento, com bombas e tubulações hidráulicas que oneram a instalação em aproximadamente 30%.

É necessário ter água em abundância e de boa qualidade. Ao usar água gelada nestes processos, a capacidade de produzir gelo à noite quando a eletricidade é menor deve ser

considerada. A temperatura mínima deve ser em torno de 4°C para circulação sem risco de congelamento.

2.2. SISTEMA DE ÁGUA GELADA

Segundo ASHRAE, ar-condicionado é entendido como o processo de tratamento do ar por ajustes conjuntos de temperatura, grau de pureza e circulação, garantindo condições favoráveis e desejáveis para um ambiente climatizado.

Os tipos de sistemas de ar-condicionado podem ser divididos em quatro: sistema central para todo o edifício, sistema split, sistema autônomo e sistemas individuais. O sistema de refrigeração é um dos principais fatores de consumo de energia, gerando custos para o administrador em diferentes empresas, como um edifício executivo que é o local para o desenvolvimento deste trabalho. Desta forma, o planejamento adequado de como o sistema de ar-condicionado será executado neste local é um ponto importante a ser considerado. O foco deste trabalho está na água gelada que é o sistema de ar-condicionado central mais comum.

A central de água Gelada é Definida pela ABNT/CB-55 como “um sistema central em que uma ou mais unidades de tratamento de ar, cada uma operada e controlada independentemente das demais, são supridas água gelada (ou outro fluido térmico) produzida numa central frigorígena constituída por um ou mais grupos resfriadores de água e distribuída por bombas, em circuito fechado”.

Os sistemas de água gelada consistem em um conjunto de equipamentos para produzir água gelada em larga escala e grande capacidade. Esses sistemas podem ser classificados em condensação a ar e água, neste último caso o sistema é composto por um chiller, uma torre de resfriamento, bombas e linhas de água condensada e gelada, fan-coils e válvulas. No caso do sistema refrigerado a ar, não é necessário o uso de torre de resfriamento.

Dentre os elementos mencionados que compõem o sistema de água, o chiller é o principal componente e tem como função resfriar a água utilizada para condicionar o ar. Sistemas de grande porte ou sistemas que exigem controle rigoroso de temperatura, umidade e filtragem, como shopping centers, data centers, hotéis e grandes edifícios comerciais, são utilizados sistemas de expansão indireta, também chamados de sistemas de água gelada. Em sistemas de água gelada, o equipamento de refrigeração instalado em uma área do edifício, é chamado de Central de Água Gelada. A estação de água gelada incorpora equipamentos chamados chillers que resfriam a água.

A água gelada produzida nos chillers é bombeada e através de uma rede de tubos todas as áreas serão climatizadas. Como estas tubulações transportam água gelada, estas são isoladas termicamente.

No sistema de água gelada, a refrigeração é fornecida por outros equipamentos chamados Fancoils, que são um ventilador que movimenta o ar e uma serpentina na qual circula a água gelada. Os fancoils podem ser grandes, instalados em salas de máquinas com distribuição de ar através de dutos, que podem ser aparentemente pequenos.

2.3. CHILLER

Os chillers ou resfriadores de líquidos, podem ser definidos, como grandes máquinas de resfriamento com a função de fluidos de resfriamento, para uso futuro em diversas aplicações. Estes equipamentos cumprem essa função através de ciclos de refrigeração, em que o fluido de trabalho sofre variações de temperatura e pressão até completar o calor do ambiente que será aclimatado e a temperatura desejada para o do utilizador.

O chiller é o componente mais relevante em um sistema de água gelada, porque é o motor térmico que remove calor de uma fonte fria e o rejeita em uma fonte quente, ou seja, que é neste equipamento que ocorrem as trocas de calor.

Ele é composto por componentes essenciais como evaporador, a válvula de expansão e o condensador, além disso possui outros elementos periféricos, como o circuito de lubrificação, os filtros secadores, os sistemas instrumentados de nível, temperatura e pressão.

Os vários modelos de chillers que podem ser encontrados no mercado diferem de acordo com a forma como o calor está no condensador, o tipo de compressor integrado a ele e a carga térmica solicitada no projeto. Quanto ao tipo de compressores, eles podem ser scroll, centrífugos, parafuso e pistão e quanto ao condensador, ele pode ser dividido em condensação de água ou ar. Finalmente, neste que diz respeito ao evaporador, eles podem ser do tipo inundado ou seco.

O sistema central de água gelada pode ser subdividido em tipos, o considerado primário: onde o fluido circula para o chiller; e o secundário: onde o fluido escoar pelo prédio após sair do resfriador, retorna ao sistema primário e fecha o ciclo.

A diferença fundamental entre chillers de condensação a água e a ar está precisamente no processo de troca de calor no condensador. Em sistemas refrigerados a água, o refrigerante transfere calor para a água no condensador. Após ser aquecida pelo refrigerante no condensador, a água é bombeada para a torre de resfriamento, resfriando-a onde troca calor com o ambiente e retorna ao condensador, fechando o ciclo.

No resfriador de ar, a troca de calor com o refrigerante ocorre passando um fluxo de ar pelo condensador para resfriá-lo. Esta circulação de ar é assegurada por ventiladores posicionados do equipamento de refrigeração líquida. Portanto, não é necessário o uso de uma torre de resfriamento.

2.3.1. CHILLER DE CONDENSAÇÃO À ÁGUA

Os chillers de condensação a água são utilizados em pequenas e grandes instalações industriais, comerciais e institucionais. Normalmente, é utilizado principalmente para baixar a temperatura de ambientes e equipamentos, desde máquinas robóticas avançadas até servidores de computador. Eles também podem ser utilizados para esfriar a água potável e/ou para fornecer água mais fria para processos industriais.

Basicamente, um chiller condensação a água utiliza quatro partes principais: um compressor, um evaporador, um condensador e um sistema de medição. Uma vez que a finalidade do chiller é remover o calor de algum lugar onde ele não é desejado, como peças mecânicas ou simplesmente ambientes, ele suga o calor e o transporta para o condensador, onde é esfriado e expelido de volta para absorver mais calor.

No geral, um chiller condensação a água é ideal para qualquer ambiente, pois possui vários modelos de diferentes potências que se adaptam para atender qualquer necessidade. Estamos sempre dispostos à auxiliá-los e sanar todas as dúvidas que podem aparecer.

Figura 1 – Chiller de Condensação à água



Fonte: Site Bagertech

2.3.2. CHILLER DE ABSORÇÃO

O chiller por absorção pode ser considerado como um ciclo de refrigeração “termoquímico”, que trabalha internamente a baixa pressão (vácuo). No seu interior circulam dois líquidos: um líquido refrigerante (água deionizada) e um líquido absorvedor (brometo de lítio – LiBr), nesse caso, um sal diluído em água que tem capacidade de absorver os vapores do refrigerante quando alcança uma determinada concentração.

O chiller por absorção tem um evaporador acoplado a um absorvedor, formando um vaso único, chamado evaporador-absorvedor. Nesse vaso, no lado do evaporador, o líquido refrigerante (água deionizada) é evaporado quando entra em contato com os tubos de cobre, onde internamente circula o líquido a ser resfriado (água gelada).

No lado chamado absorvedor, o refrigerante evaporado é absorvido por uma solução de LiBr na fase líquida, distribuída como “chuva”, permitindo, assim, o contato íntimo entre o refrigerante evaporado e o líquido absorvedor (LiBr), nessa ocasião com concentração alta o suficiente para absorver o vapor refrigerante. Uma vez que o LiBr absorveu o refrigerante, ele se transforma numa solução diluída, reduzida da sua concentração inicial, perdendo sua capacidade de absorver o refrigerante como tinha no início do ciclo. A solução diluída é enviada para outra parte importante do chiller por absorção, chamada gerador, onde é aquecida até liberar todo o vapor do refrigerante nela contido e, dessa forma, se reconcentrando, obtendo de novo a concentração inicial para absorver o vapor refrigerante no começo do ciclo, no vaso denominado evaporador-absorvedor. Essa solução concentrada no gerador retorna ao absorvedor, novamente capaz de absorver o vapor refrigerante.

O refrigerante na forma de vapor, que foi separado do LiBr no gerador, é enviado para outra seção importante do chiller por absorção, o condensador, onde será liquefeito (condensado) através do contato com os tubos de cobre do condensador, nos quais circula internamente a água que vem da torre de resfriamento (água de condensação) e cuja temperatura é baixa o suficiente para permitir a condensação.

O refrigerante na fase líquida vai do condensador para o evaporador, reiniciando o ciclo já descrito acima, que se repete indefinidamente enquanto funcionar o chiller por absorção. É importante notar que o calor utilizado como energia no gerador (do ciclo de refrigeração por absorção) é quem vai separar o refrigerante que está unido intimamente ao LiBr. O antagonismo de que calor pode produzir “frio” fica aqui desvendado.

O efeito refrigeração é o mesmo, tanto no ciclo por absorção como no ciclo por compressão, ou seja, em ambos os casos o líquido refrigerante se evapora a baixa pressão e

absorve o calor para produzir água gelada, o que difere é a forma de energia utilizada em cada ciclo, ou seja, na absorção utilizamos o calor, na compressão utilizamos a energia elétrica.

Embora o chiller por absorção seja uma escolha ideal e frequente para grandes edifícios comerciais, a tecnologia de hoje é adequada para uma variedade de pequenos, médios e grandes sistemas. Escolas, edifícios governamentais, restaurantes e estabelecimentos de varejo, como shopping centers, precisam de altas cargas de resfriamento durante o dia.

Além disso, os chillers por absorção reduzem significativamente o consumo e o custo elétrico, especialmente nas altas demandas de pico. Funcionam muito bem em sistemas dedicados de resfriamento em grandes plantas como parte de um sistema híbrido, onde as necessidades de refrigeração são compartilhadas com refrigeradores a gás, elétricos ou a vapor.

Figura 2 – Chiller de Absorção



Fonte: Site engenhariae arquitetura

2.3.3. CHILLER DE CONDENSAÇÃO A AR

O chiller a ar é um equipamento largamente utilizado na indústria para refrigeração de máquinas, materiais e ambientes. Os chillers se dividem basicamente entre dois mecanismos: os de condensação a água e a ar. Sua aplicação é muito vasta e abrange desde a indústria de plástico e borracha até setores como eventos, construção civil, indústrias alimentícias e farmacêuticas, entre outros.

De forma geral, o chiller a ar é um equipamento composto de unidades monobloco com condensação a ar, fabricadas nas versões com reservatório interno e externo. Muitos grupos de refrigeração desse tipo estão disponíveis em versões modulares, com a possibilidade de acoplamento de vários módulos diferentes.

Esse sistema também viabiliza a operação em diferentes potencialidades e tempos sucessivos, conforme a necessidade da indústria e seus processos empregados. Assim, o chiller

a ar é a melhor opção para resfriamento de máquinas que processam plástico e borracha, bem como equipamentos de fundição, galvanoplastia, cerâmica, etc.

É de vital importância utilizar o chiller a ar adequado para as exigências dos processos industriais de cada setor. Os chillers variam bastante em capacidade, de acordo com a oscilação de temperatura, umidade, porte das máquinas, entre outros fatores.

Como a maioria dos processos industriais gera uma grande quantidade de calor, é imprescindível investir em sistemas de refrigeração para o controle de temperatura adequado. Essa medida é fundamental tanto para a proteção das máquinas, matérias-primas e produtos quanto para a adequação do ambiente de trabalho aos colaboradores.

Para suportar as altas demandas industriais, o chiller a ar é projetado com materiais robustos e componentes reforçados para atender as mais elevadas cargas e resfriar equipamentos de grande porte. Entre os benefícios de sua utilização estão a baixa necessidade de manutenção, fácil operação, baixo consumo de energia, durabilidade e excelente custo-benefício.

Figura 3 – Chiller de Condensação a Ar



Fonte: Site Carrier

2.4. FANCOIS

O Fan Coil é um sistema de refrigeração composto por duas principais estruturas: um ventilador (fan) e uma serpentina (coil) que funcionam como um permutador de calor.

Fan coils e fancoletes (ventiladores) são os equipamentos que integram o sistema de água gelada que utiliza a água gelada produzida em chiller, ou seja, onde ocorre a troca de calor entre os circulantes refrigerados através da serpentina do equipamento e ar.

Estas unidades ventilo-convectoras são amplamente recomendadas para serem utilizadas em cinemas, edifícios comerciais, centros comerciais, shoppings e etc.

As unidades fancoletes são consideradas unidades ventilo-convectoras com pequenas capacidades, são particularmente indicadas em projetos como os centros comerciais que já estão integrados na estrutura de abastecimento de água fria, mas serão responsáveis pela garantia da climatização de uma região menor. O funcionamento desses condicionadores de ar é basicamente o mesmo do sistema evaporativo de um equipamento de ar-condicionado split, substituindo o fluido de trabalho que realiza a troca com o meio ambiente, ou seja, substituição de refrigerante por água gelada. Estas máquinas incluem serpentinas nas quais é feita a água gelada que, em contacto com o ar, passa previamente por este caminho e depois inflada à qual será aclimatada.

Figura 4 – Fancoil



Fonte: Site Trox

2.5. BOMBAS

De modo geral, as bombas utilizadas nos sistemas de ar-condicionado são centrífugas, e são divididas em um ou mais estágios de acordo com a vazão e a altura requeridas, sendo essas bombas os componentes responsáveis por garantir a circulação de água de todo o sistema.

As bombas podem ser divididas em bombas primárias, bombas secundárias e bombas de condensado. A função da bomba primária é extrair e bombear a água do prédio para o evaporador do chiller, onde é resfriada por troca de calor com o fluido refrigerante. Já a secundária é responsável por fornecer água gelada deixando o chiller para o resto do sistema para alimentar as unidades ventilo-convectoras. Por fim, a bomba de condensado é utilizada

apenas em chillers de condensação a água e sua função é circular a água do condensador para a torre de resfriamento e de volta ao condensador. É importante ter uma bomba reserva para cada bomba para manter o sistema funcionando em caso de falha (funcionamento) (LINS e CAIAFA, 2016).

Figura 5 – Bombas C.A.G



Fonte: Samuel Broni

2.5.1. TORRES DE RESFRIAMENTO

Antes de estudar como funcionam as torres de resfriamento, é essencial ter uma sólida compreensão dos conceitos de temperatura do ar de bulbo seco e bulbo úmido. A de bulbo seco, é a temperatura do próprio gás (o bulbo do termômetro usado na medição é "seco"), já a de bulbo úmido é a temperatura medida com uma bola de termômetro envolta por gaze umedecida com água e outras precauções específicas, em que podemos definir como a temperatura (equilíbrio não termodinâmico) alcançada quando uma pequena fração de água está em contato com um fluxo contínuo de ar em condições adiabáticas (apenas troca de calor entre ar e água), ignorando o efeito da radiação térmica nesta troca. A temperatura de bulbo úmido é menor ou no máximo igual à temperatura de bulbo seco, isso devido a exposição da água ao fluxo de ar não saturado (menos de 100% de umidade relativa), que faz com que parte da umidade da gaze evapore e a temperatura caia. Para melhor entendimento deste fenômeno: ¹quando você sai da piscina, de repente sente frio à medida que evapora um pouco da água que encharca sua pele; ²quando você bebe água armazenada em uma panela de barro, é mais fria porque a argila é porosa e uma parte da água armazenada escoar (suor) pelas paredes (a superfície externa da panela parece "suada"), evaporando para o ar e usando para resfriar a água da moringa.

Nas torres de resfriamento, a principal contribuição para o resfriamento da água é a evaporação de parte da água que é recirculada na torre. A evaporação da água (transferência de massa da fase líquida para a fase gasosa) resulta em uma queda na temperatura da água que flui através da torre de resfriamento. Isso ocorre porque a água a ser evaporada requer calor latente,

e esse calor vem da própria água que flui pela torre. Lembremos que a transferência de massa da água para o ar ocorre porque as duas fases em contato tendem a se equilibrar. A evaporação de parte da água resulta em cerca de 80% do resfriamento da água, a diferença de temperatura entre o ar e a água é responsável por outros 20% do resfriamento.

Dentro de certos limites, taxas de fluxo de ar e água mais altas levam a uma convecção mais forte, o que aumenta os coeficientes globais de transferência de calor e massa. O aumento do fluxo de ar e água resulta em aumento da turbulência, o que é benéfico para a transferência de calor e massa. No entanto, do ponto de vista, quando a vazão de água e ar se torna muito alta, o contato entre a água e o ar torna-se ineficiente, por exemplo, pode haver arrasto excessivo da água pelo fluxo de ar ou dificuldade em encher o enchimento. superfície forma um filme fino que facilita a transferência de massa. O fluxo de água e ar da coluna é limitado pelo tipo de enchimento utilizado.

Figura 6 – Torre Alpina



Fonte: Samuel Broni

2.6. DUTOS

Nos sistemas de climatização e refrigeração, diversos elementos contribuem para que o ar circule e que a troca de calor seja feita de forma adequada, garantindo a temperatura ideal em todo o ambiente. Os dutos de ar-condicionado têm papel fundamental na climatização, ocupando lugar de destaque em toda a estrutura, embora algumas pessoas ainda desconheçam do que de fato se trata esse item.

Os dutos de ar-condicionado são peças retangulares ou cilíndricas utilizadas para a distribuição de ar refrigerado e a exaustão de ar interno de um determinado ambiente, permitindo que a climatização ocorra de forma eficiente, garantindo a qualidade de ar e temperatura adequada.

Entretanto, para que executem suas funções de forma correta, é necessário que o projeto de instalação de dutos de ar-condicionado seja bem executado, garantindo assim, que eles sejam instalados no local correto e de forma detalhada,

O material mais frequentemente utilizado para a confecção desses dutos, o campeão é o aço galvanizado. Chapas deste material são instaladas inicialmente e, em seguida, revestida com isolamento térmico, fazendo com que a instalação desse tipo de duto de ar-condicionado seja realizada em duas fases. Outro material muito utilizado na hora da confecção dos dutos de ar-condicionado são os painéis de poliuretano e fenólicos, encontrado nos dutos pré-isolados. Como seu material possui propriedades termicamente isolantes, estes dutos podem ser instalados de uma única vez.

Os dutos de ar-condicionado também podem ser construídos com alumínio, por ser um material leve e de fácil manuseio. Porém, quem escolhe um modelo flexível encontra dutos deste material confeccionado em formato cilíndrico, com revestimento em PVC.

Menos comuns, o mercado oferece também dutos para ar-condicionado feitos com poliéster. Por causa de suas propriedades, este material não é capaz de oferecer um adequado sistema de dutos de ar-condicionado.

Figura 7 – Dutos de Ventilação



Fonte: Site startsc

3. METODOLOGIA

O trabalho buscou realizar um diagnóstico de um sistema de refrigeração por chiller visando a melhoria da eficiência térmica a partir de um estudo sobre cada componente do sistema de Refrigeração comparando com os parâmetros projetados do sistema de refrigeração x parâmetros reais do sistema.

A metodologia utilizada será descrita nos passos a seguir, tendo como objetivo expor a série de medidas que possibilitou o levantamento e análise de dados e, por fim, a apresentação dos resultados obtidos no diagnóstico.

3.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE OS COMPONENTES DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR CHILLER

Nesta etapa, foi levantado uma revisão bibliográfica sobre a Central de água gelada do Shopping center com o intuito de conhecer o funcionamento e a importância de cada Componente para a Operação do Sistema Funcionar de Acordo com os Dados Projetados.

3.2. INSPEÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

Esta etapa do processo foi destinada ao levantamento de dados do sistema de Refrigeração da C.A.G visando a analisar Eficiência térmica real do Sistema.

A finalidade dessa etapa foi coletar os dados real do sistema para ser realizado uma análise comparativa entre valor real x Valor projetado do Sistema.

3.3. REVISÃO DE CARGA TÉRMICA

Após as a conclusão das etapas 1 e 2, foi realizado um levantamento de carga térmica para entendermos o déficit térmico do Sistema, Devido a Grande proporção do Shopping Center, foi escolhido a Praça de alimentação para realizarmos o levantamento de Carga térmica do sistema.

3.4. AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Nessa etapa foi realizado um levantamento de custos para melhoria do Sistema de Refrigeração, levando em conta materiais e maquinários a serem comprados, assim como serviços terceirizados para Implantação do Projeto.

3.5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

De posse dos resultados, após o diagnostico realizado foi possível mensurar as possíveis causas do baixo rendimento térmico do sistema assim como soluções para melhoria da Eficiência térmica visando uma excelente experiencia para os Clientes do Shopping Center.

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

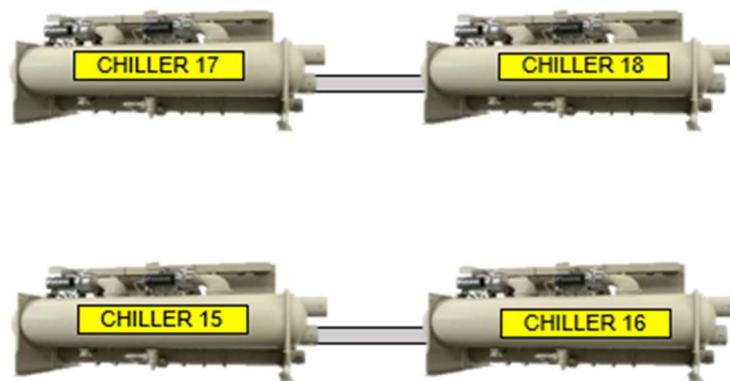
4.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ÁGUA GELADA

O sistema de refrigeração instalado no empreendimento é o de “expansão indireta” com central de água gelada, composto basicamente Unidades Resfriadoras de Líquido (Centrífugas) com condensação a água, e diversos condicionadores de ar do tipo “fan & coil”, para os Malls

e Lojas, interligados a redes de dutos, sendo os responsáveis pela retirada do calor sensível e latente do ar, bem como pela filtragem dele.

Neste tipo de sistema, todos os condicionadores estão interligados ao sistema central de geração de água gelada constituído, sendo nesta primeira etapa instalada, por 04 unidades resfriadores de líquido com compressor centrífugo e condensação a água, de alta eficiência, trabalhando 02 a 02 em série, formando dois grupos de centrífugas com capacidade nominal de 1200 TR's cada grupo. As centrífugas trabalham com contrafluxo entre a parte de evaporação (água gelada), e condensação.

Figura 8 – Associação de Chillers do Sistema



Fonte: Tony Medeiros

O sistema é composto por três tipos de anéis de circulação de água: primário, condensação e secundário. As Bombas primárias: enviam água dos andares para os chillers. São 03 (três) bombas centrífugas de recirculação primárias, sendo uma dedicada para cada grupo de centrífugas e 01 reserva, formando o anel primário de água gelada. Bombas secundárias: enviam água resfriada para os andares individualmente.

Figura 9 – Bombas Primarias



Fonte: Samuel Broni

Nesta primeira etapa, temos 03 (três) anéis secundários, sendo um para o L1, um para o L2 e outro para o L3, cada um composto por 01 bomba de recirculação, e uma sendo reserva, os quais farão a efetiva distribuição final de água até os diversos condicionadores de ar. Bombas de condensação: circulam a água de condensação que resfria os chillers.

Figura 10 – Bombas Secundarias C.A.G



Fonte: Samuel Broni

O anel de condensação é composto, por 04 Torres de Resfriamento, sendo 02 torres atendendo um grupo de centrífugas, e 05 bombas centrífugas de recirculação, sendo uma reserva. Devido às características intrínsecas do sistema adotado, é de extrema importância que todos os condicionadores possuam serpentinas com no mínimo 6 (seis) filas e 14 aletas / polegada com circuitação compatível.

Figura 11 – Bombas Condensadas



Fonte: Samuel Broni

Esta exigência é válida tanto para os condicionadores que atendem aos Malls como para os equipamentos a serem instalados nas Lojas. Complementam ainda a instalação: tubulações isoladas de água gelada, válvulas de balanceamento, quadros elétricos de força e comando e conjuntos de controle eletrônicos com ação PID.

As bombas primárias, bombas de condensação e os motores das torres de resfriamento a partida aliviada se dá através de soft-starter da marca Danfoss. As bombas secundárias– 03 são comandadas via conversor de frequência da marca Danfoss. Estes receberão sinais de transmissores de pressão instalados em suas respectivas linhas hidráulicas e efetuarão o processamento do sinal via bloco controlador PI(proporcional integral) para o ajuste individual da vazão necessária em cada pavimento.

O sistema de gerenciamento e controle de cada conjunto de duas centrifugas em série contrafluxo se dará pelo próprio software da McQuay, que possibilita a implantação futura de sistema de controle e gerenciamento unificado através de comunicação via protocolos abertos. Através do sistema de gerenciamento e controle das Centrifugas foi possível implementar as seguintes funções automáticas facilitando a operação e monitoramento do funcionamento dos equipamentos da CAG: Controle da temperatura de condensação – torres de resfriamento – através de sensores de temperatura determinando o comando e acionamento dos ventiladores das torres conforme necessário, Habilitação da partida das BAGP's e BAGS's com possibilidade de comando remoto via IHM .

A vazão de água para cada condicionador “Fan & Coil” é limitada e controlada por 1 válvula independente de pressão do tipo AB-QM-AMV/E (ref. Danfoss), montada à jusante de cada equipamento e fornecida pela empresa instaladora dos sistemas de HVAC.

Figura 12 - TAG motores BAC e BAG

TAG	BAGP-01 a 03	BAGS-L1/L2/L3/RS	BAC-01 a 05
Fase	Atual	Atual	Atual
Serviço	Água Gelada Anel Primário	Água Gelada Anel Secundário	Água de Condensação
quantidade	03 (três)	04 (quatro)	05 (cinco)
Mod. (ref. KSB)	Meganorm-150/200	Meganorm-125/315	Meganorm-150/250
Ø rotor (mm)	218/215	329	234
vazão (m ³ /h)	364,0	306,0	410,0
alt. man. (mca)	15	50	20
motor (CV)	30,0	100,0	50,0
obs.	1 reserva	1 reserva	1 reserva

Fonte: Samuel Broni

Figura 13 – Dados Torres Alpinas

TAG	TR01 a TR04
fase	Atual
modelo (ref. Alpina)	200/6-SGC-II-E
capacidade (TR)	610
motor (CV / Pólos)	25,0 / 6P
vazão de água (m ³ /h)	410,0
condições de operação	
temperatura de entrada	36,5
temperatura de saída	32,0
temperatura de bulbo úmido	29,0
quantidade	04
peso em operação (kg)	16.460

Fonte: Samuel Broni

4.2. DISTRIBUIÇÃO DE AR NOS AMBIENTES

Após devidamente tratado e resfriado, o ar é conduzido aos ambientes condicionados por meio de redes de dutos com juntas TDC isoladas termicamente e embutidos no forro falso de cada pavimento. A distribuição final (difusão) do ar dar-se-á através de difusores de alta indução, providas de caixas-plenum e registros de vazão, com pintura eletrostática.

O padrão construtivo das redes de dutos possui nível de estanqueidade “B”, conforme tabela 6.4.4.2B da Norma ASHRAE 90.1-2007.

4.3. ISOLAMENTO TÉRMICO

Os dutos de ar-condicionado são isolados nos trechos embutidos com mantas de lã mineral (lã-de-vidro), espessura 38mm, densidade 20 Kg/m³, com revestimento externo em papel Kraft aluminizado. As emendas do isolamento são protegidas com fita adesiva na cor alumínio tipo “Tec Tape”.

4.4. TOMADAS DE AR EXTERNO

As tomadas de ar externo destinam-se ao fornecimento do ar necessário à higienização e pressurização dos Malls ou Lojas. O Shopping fornecer pontos de tomada de ar externo para cada Loja, compostos por colarinhos redondos com registro borboleta, cabendo a cada Lojista a interligação entre estes pontos e a caixa de mistura do condicionador de ar da respectiva Loja.

4.5. ANÁLISE DE TEMPERATURA APPROACH

O termo approach (a melhor tradução do inglês seria aproximação). É muito empregado pelas equipes de operação na análise de desempenho dos trocadores de calor de

um Chiller. No evaporador, o approach indica o diferencial entre a temperatura de saída de água gelada e a temperatura de evaporação do fluido refrigerante.

O approach de uma torre de resfriamento é a diferença entre a temperatura da água fria (saída da torre de resfriamento) e a temperatura de bulbo úmido do ar na entrada da torre. Para torres de resfriamento industriais, o approach gira em torno de 5 °C, sendo também um critério do projeto.

Fazendo-se uma analogia com trocadores de calor, da mesma forma que seria necessária uma área infinita de troca térmica para que a temperatura do fluido quente seja a mesma do fluido frio na saída do trocador, seria necessária uma torre de resfriamento de altura infinita para que a água atinja a temperatura de Bulbo úmido do Ar.

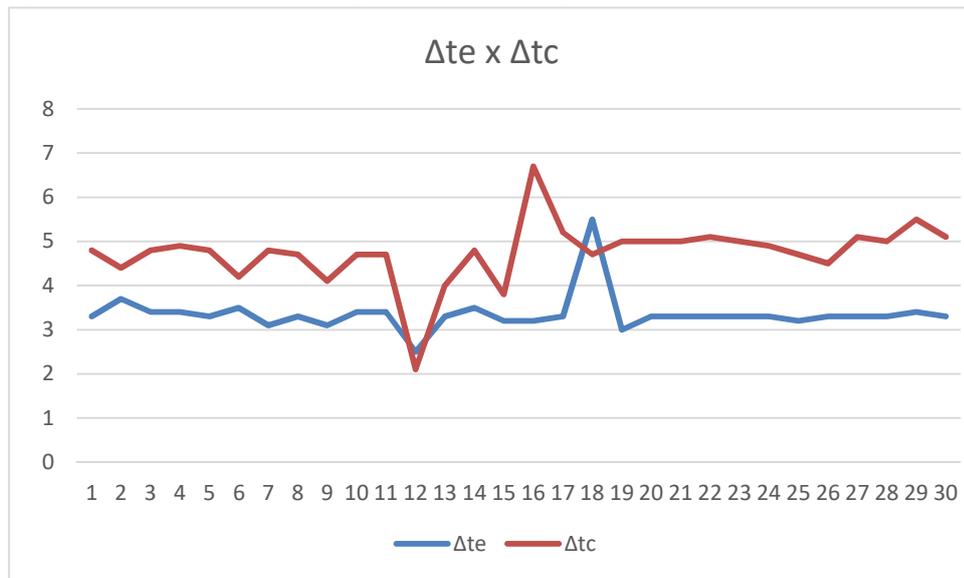
A tabela a abaixo relata a temperatura mensurada da condensadora e da Evaporada do Chiller durante um período de 30 dias, podemos analisar que a temperatura no evaporador vai diminuindo no decorrer do Dia e que varia de acordo com a temperatura externa do ambiente.

Tabela 1 – Temperatura Approach

AMOSTRA	ANALISE DE TEMPERATURA					
	EVAPORADOR			CONDENSADOR		
	T Ent	T sai	Δte	T Ent	T sai	Δtc
1	15,4	12,1	3,3	26,8	31,6	4,8
2	12,8	9,1	3,7	24,7	29,1	4,4
3	17,2	13,8	3,4	28	32,8	4,8
4	16,7	13,3	3,4	27,9	32,8	4,9
5	16,4	13,1	3,3	27,5	32,3	4,8
6	10,8	7,3	3,5	26,7	30,9	4,2
7	16,3	13,2	3,1	26,9	31,7	4,8
8	16,4	13,1	3,3	27,5	32,2	4,7
9	8,9	5,8	3,1	26,6	30,7	4,1
10	16	12,6	3,4	27,3	32	4,7
11	16,1	12,7	3,4	27,5	32,2	4,7
12	14,8	12,3	2,5	24,2	26,3	2,1
13	10,1	6,8	3,3	26,4	30,4	4
14	16,9	13,4	3,5	28,2	33	4,8
15	18,3	15,1	3,2	26	29,8	3,8
16	17,1	13,9	3,2	26	32,7	6,7
17	16,9	13,6	3,3	25,2	30,4	5,2
18	14,4	8,9	5,5	25,2	29,9	4,7
19	16,3	13,3	3	27,2	32,2	5
20	16,9	13,6	3,3	27,4	32,4	5
21	17,1	13,8	3,3	27,4	32,4	5
22	17,1	13,8	3,3	27,2	32,3	5,1
23	16,9	13,6	3,3	26,7	31,7	5
24	16,7	13,4	3,3	27	31,9	4,9
25	15,4	12,2	3,2	26,8	31,5	4,7
26	11,6	8,3	3,3	26,2	30,7	4,5
27	18	14,7	3,3	27,1	32,2	5,1
28	18,1	14,8	3,3	27,5	32,5	5
29	18,7	15,3	3,4	27,7	33,2	5,5
30	18,5	15,2	3,3	28	33,1	5,1

Fonte: Samuel Broni

Figura 14 - Variação de temperatura do Evaporador x Condensador Chiller



Fonte: Samuel Broni

4.6. ANÁLISE DE TEMPERATURA

Para análise de temperatura no Mall, foi utilizado os sensores de temperatura da Sigmais, cujo fornece através de um sistema IOT a temperatura em tempo real do ambiente em sua Plataforma de utilização.

A solução Sistema para medição de temperatura e parâmetros operacionais de equipamentos e ambientes, apresenta as seguintes funcionalidades:

Medição de temperatura e umidade do ambiente no ponto onde está instalado o dispositivo. Temperatura na faixa de -20° a $+85^{\circ}$ Celsius. Precisão de $\pm 0,5^{\circ}$ Celsius;

Medição de temperatura, via probe externa, na faixa de -55° a $+125^{\circ}$ Celsius.

Precisão de $\pm 0,5^{\circ}$ Celsius. É possível customização com implementação de probe externa para faixas de temperaturas diferentes (quando necessário);

Possibilidade de configuração de transmissão de leituras de temperatura em períodos previamente especificados (intervalo mínimo de 10 min). É possível a configuração de duas diferentes frequências de envio em até 2 faixas diferentes horários;

Os dispositivos SigTemp obtém as leituras de cada sensor em intervalos de tempo de acordo com o regime de operação determinado pela aplicação, efetua o processamento dessas leituras e realiza a transmissão dos dados através do uso de uma rede LPWAN disponível, como Sigfox por exemplo.

Os dados enviados pelos dispositivos são recebidos por nossa plataforma IoT Backend, tratados e disponibilizados tanto para acesso direto na plataforma, quanto para integração com outras aplicações Frontend. Esses dados são consumidos via integração entre as plataformas.

A plataforma IoT Sigsystem também permite o gerenciamento e administração dos dispositivos, além de permitir algumas configurações, como regime de operação, faixas de medição, entre outros parâmetros.

Figura 15 - Sensor de Temperatura Sigmais



Fonte: Site Sigmais

Os sensores foram instalados nos pilares do Mall nos 3 andares, L1, L2 e L3 para monitoramento de temperatura e umidade do Ambiente. Com as aferições foi possível analisar durante um período de 6 meses a variação da temperatura no Shopping, assim como através dos dashboard monitorar as áreas críticas do Empreendimento para rápida atuação no decorrer da operação.

Figura 16 – Monitoramento de temperatura L2



Fonte: Plataforma Sigmais

Figura 17 – Monitoramento temperatura L3



Fonte: Plataforma Sigmais

Figura 18 – Monitoramento Temperatura L1

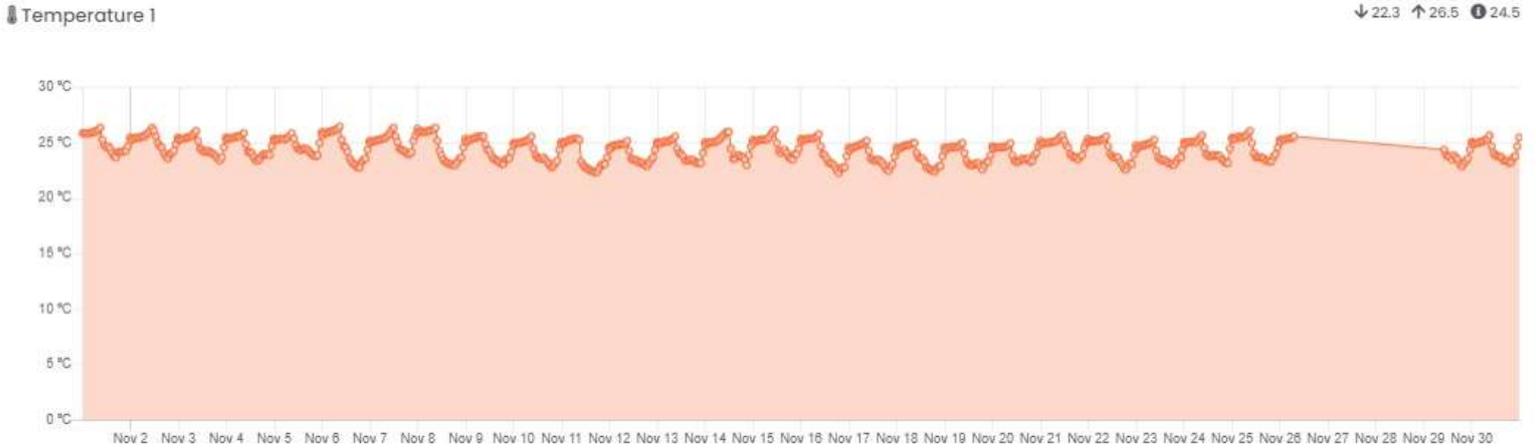


Fonte: Plataforma Sigmais

Através da Plataforma foi analisado a temperatura no período de 6 Meses do L1,L2 e L3 do Shopping:

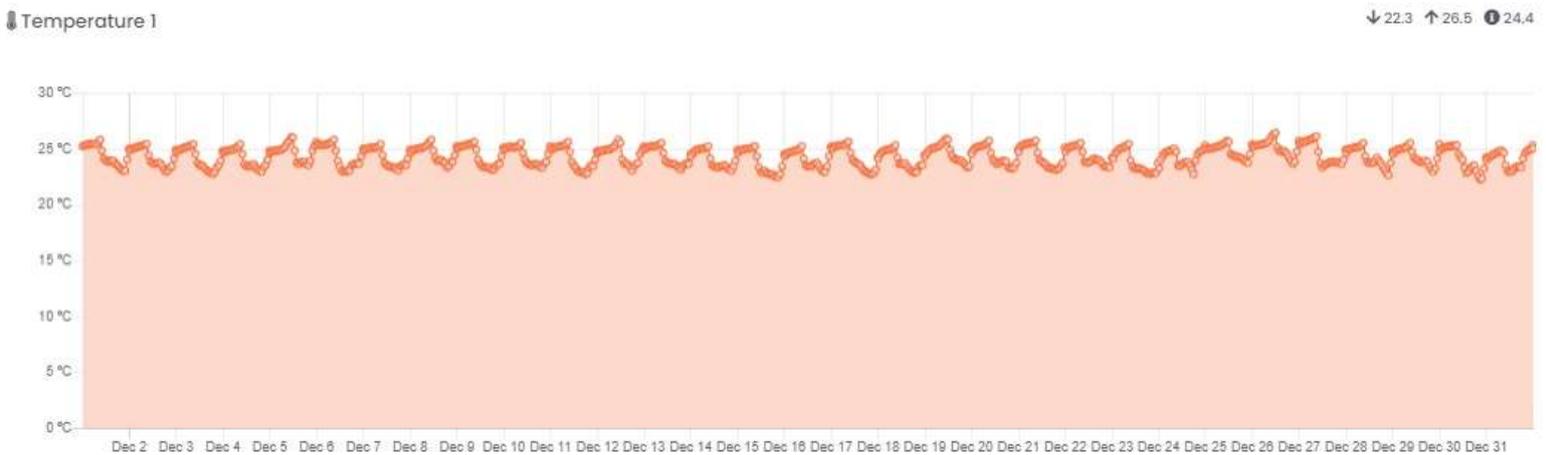
Medição de Temperatura no L1 para análise de conforto térmico do Ambiente:

Figura 19 - Temperatura L1 NOV/21



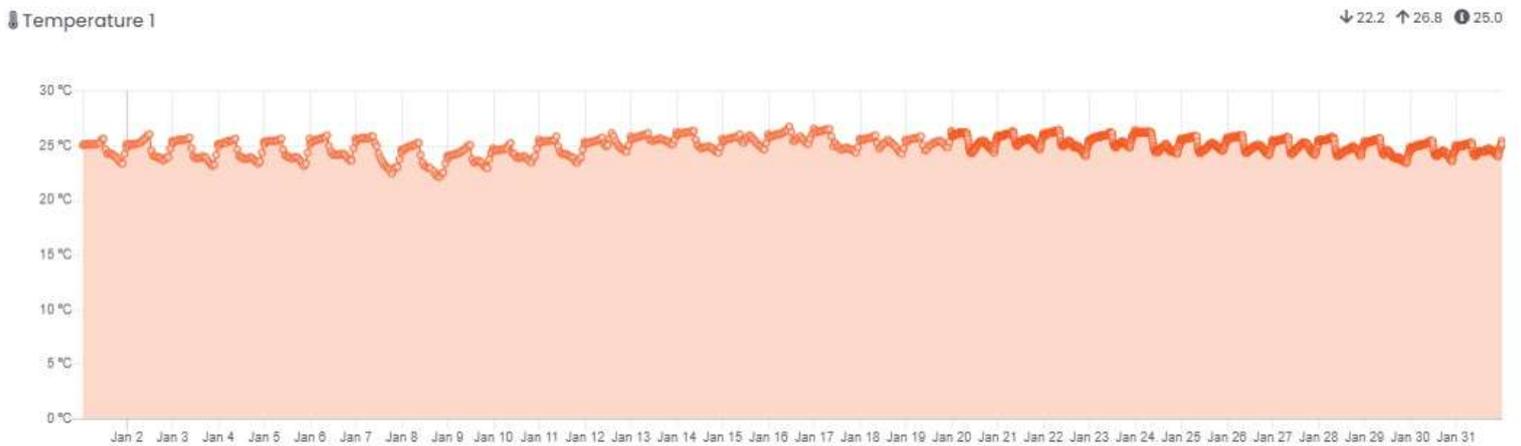
Fonte: Plataforma Sigmis

Figura 20 - Temperatura L1 DEZ/21



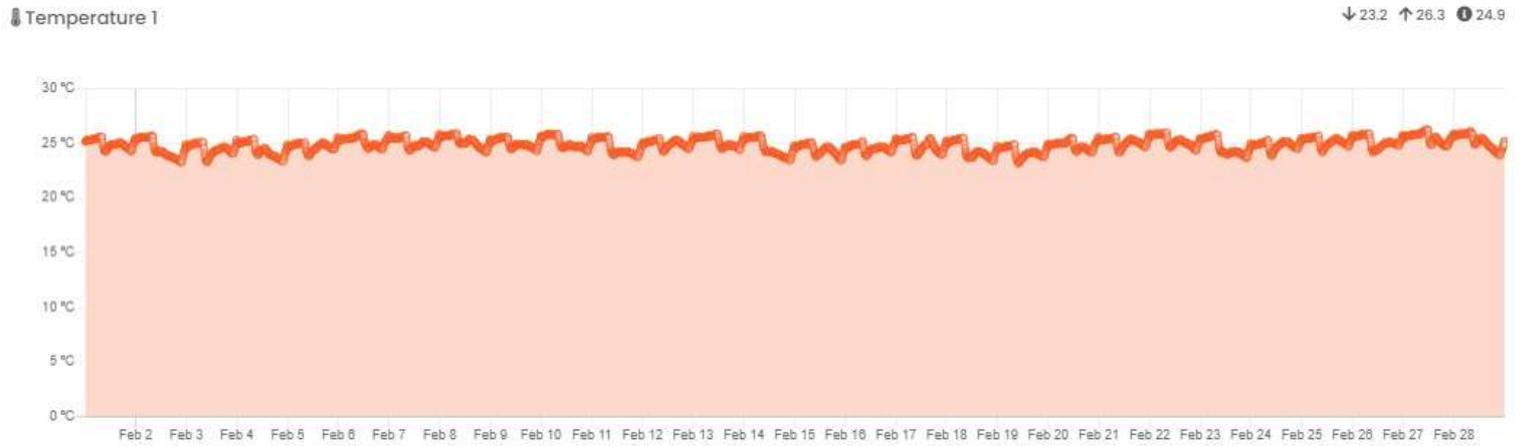
Fonte: Plataforma Sigmis

Figura 21 - Temperatura L1 JAN/22



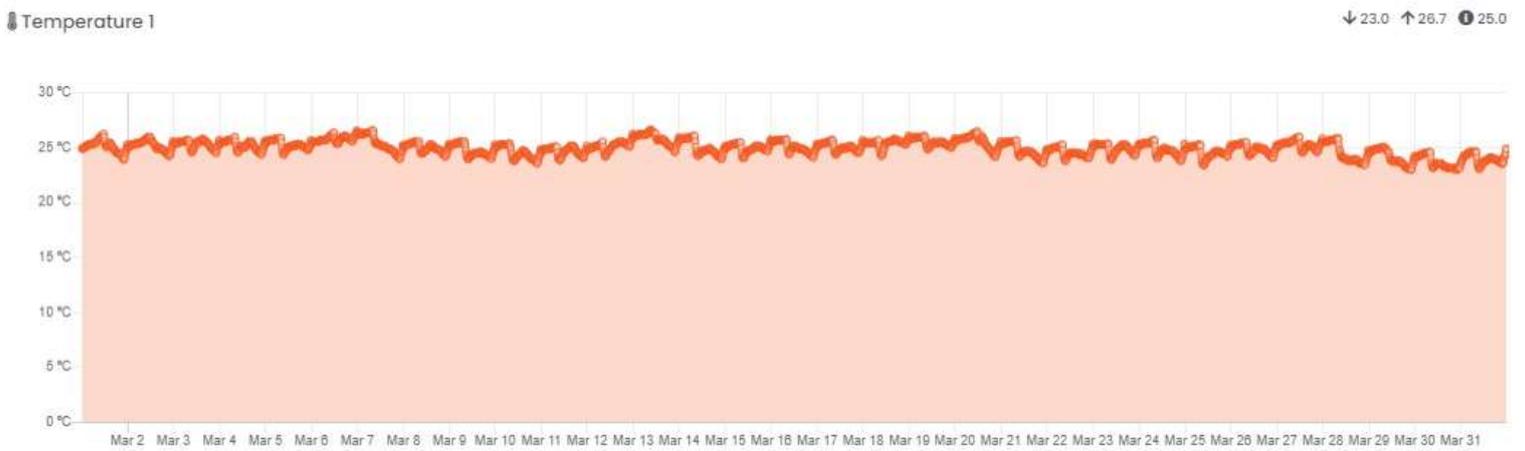
Fonte: Plataforma Sigmis

Figura 22 - Temperatura L1 FEV/22



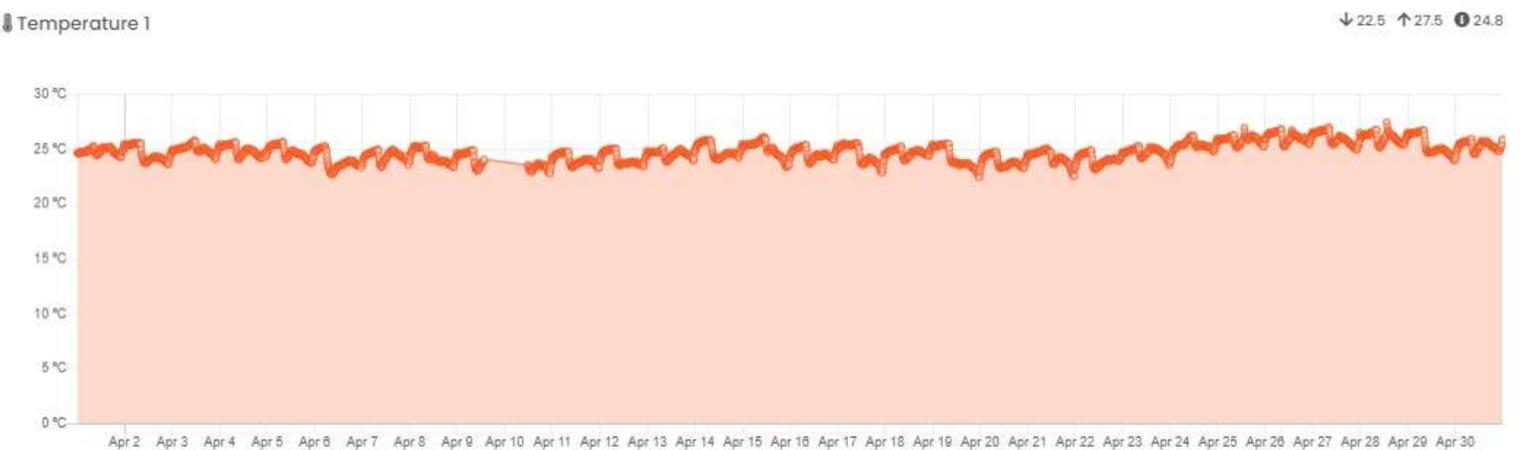
Fonte: Plataforma Sigmais

Figura 23 - Temperatura L1 MAR/22



Fonte: Plataforma Sigmais

Figura 24 - Temperatura L1 ABR/22



Fonte: Plataforma Sigmais

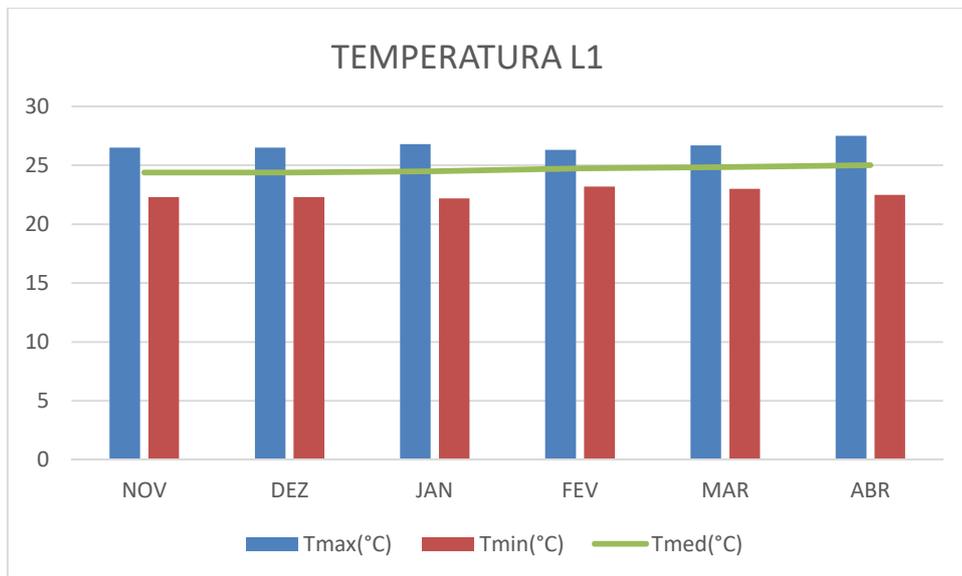
Tabela 2 – Temperatura máxima e mínima mensurada durante 6 meses no L1

TEMPERATURA L1			
MÊS	Tmax(°C)	Tmin(°C)	Tmed(°C)
NOV	26,5	22,3	24,4
DEZ	26,5	22,3	24,4
JAN	26,8	22,2	24,5
FEV	26,3	23,2	24,8
MAR	26,7	23	24,9
ABR	27,5	22,5	25
T'med(°C)	26,7	22,6	24,7

Fonte: Samuel Broni

Após análise de Temperatura no L1 podemos afirmar que a temperatura média está dentro dos parâmetros de conforto térmico baseados fundamentalmente no ASHRAE Handbook Fundamentals de 2005 (ASHRAE, 2005) que define temperaturas operativas internas que variam de 22,5°C a 25,5°C (para umidade relativa de 65%), e 23,0°C a 26,0°C (para umidade relativa de 35%).

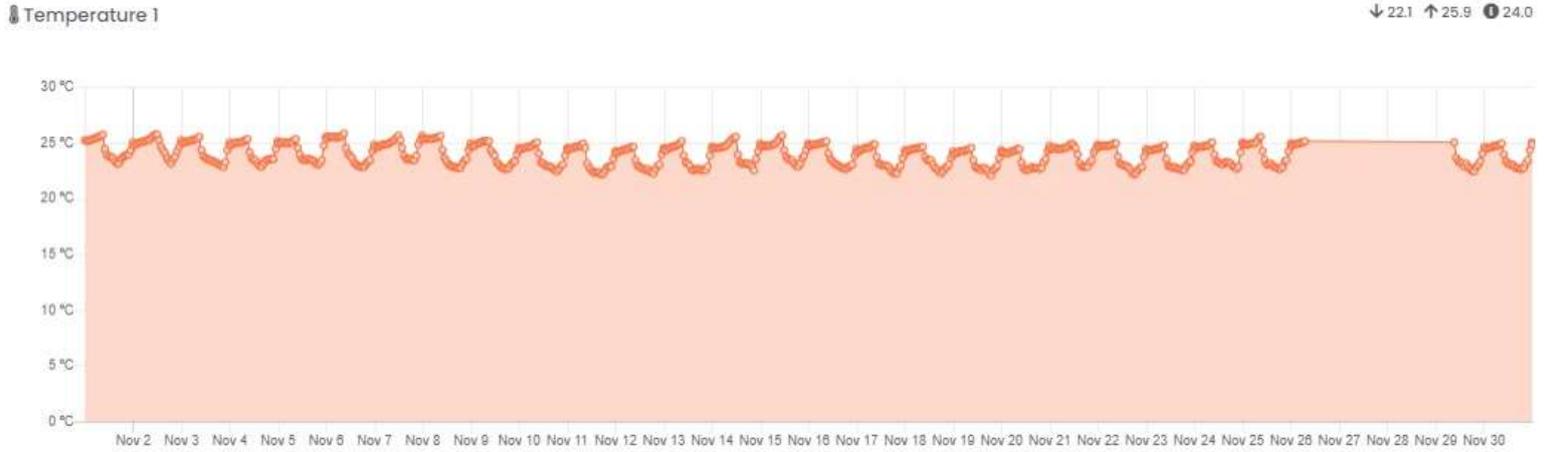
Figura 25 - Temperatura L1(Período de 6 Meses)



Fonte: Samuel Broni

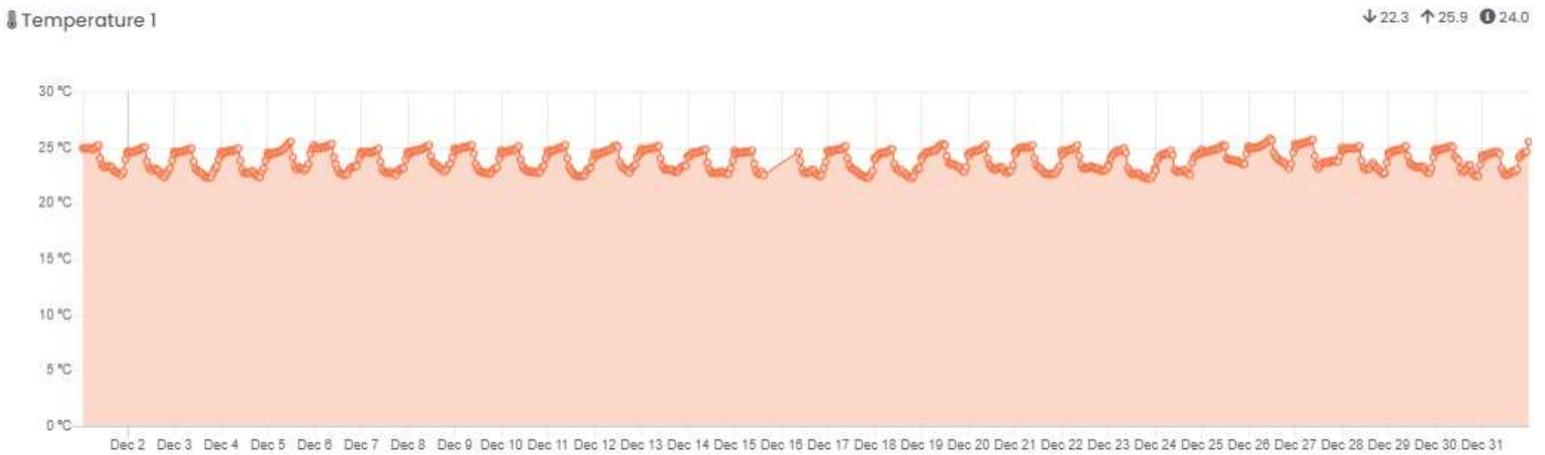
Após análise de temperatura no L1, seguimos para medição de Temperatura no L2 para análise de conforto térmico do Ambiente:

Figura 26 - Temperatura L2 NOV/21



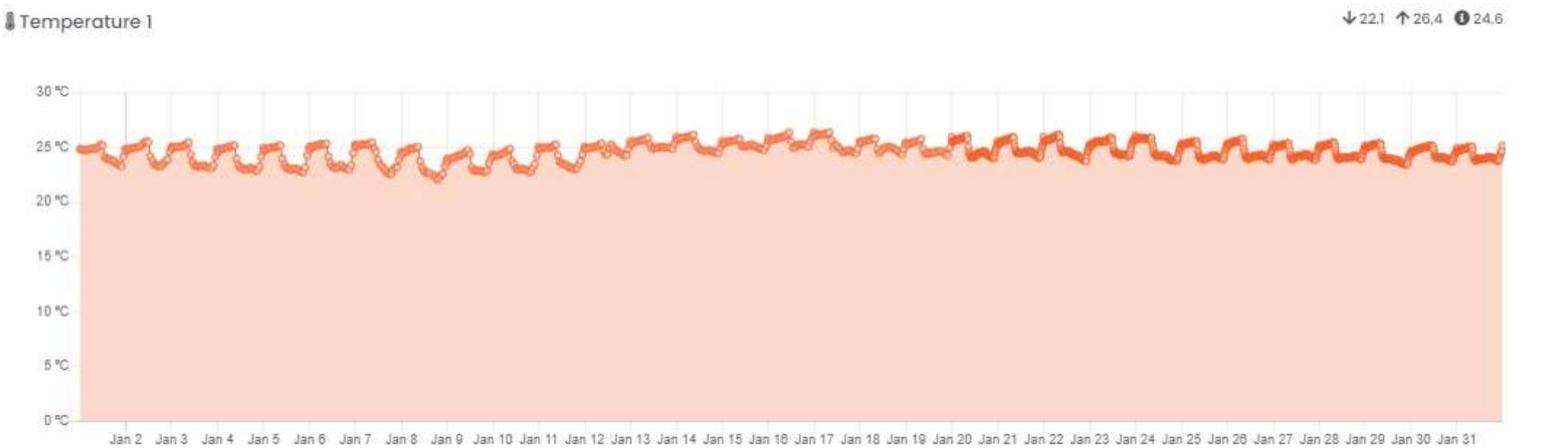
Fonte: Plataforma Sigmais

Figura 27 - Temperatura L2 DEZ/21



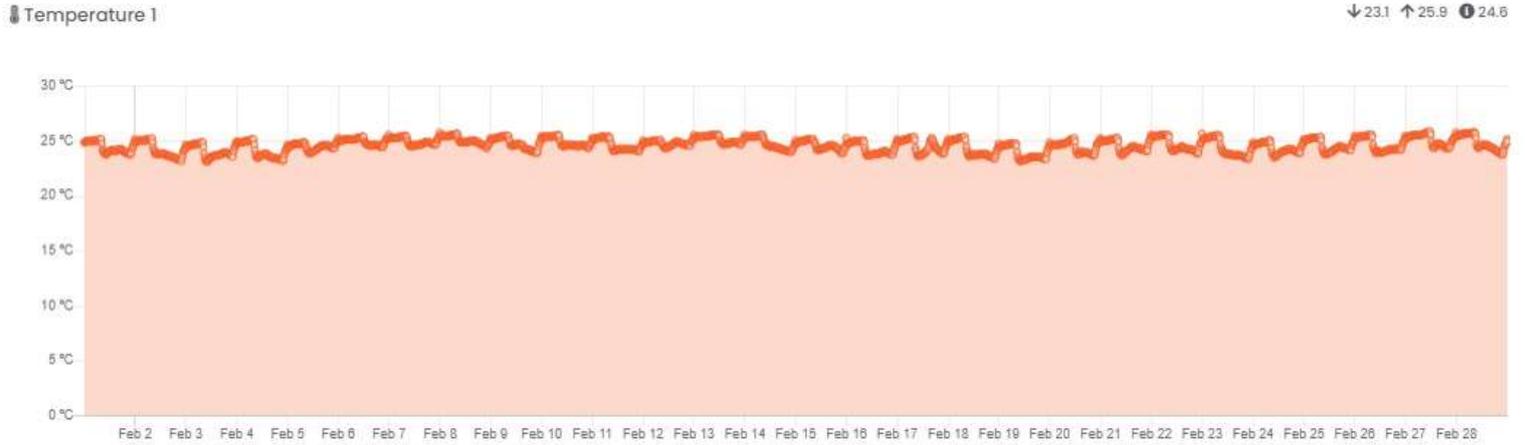
Fonte: Plataforma Sigmais

Figura 28 - Temperatura L2 JAN/22



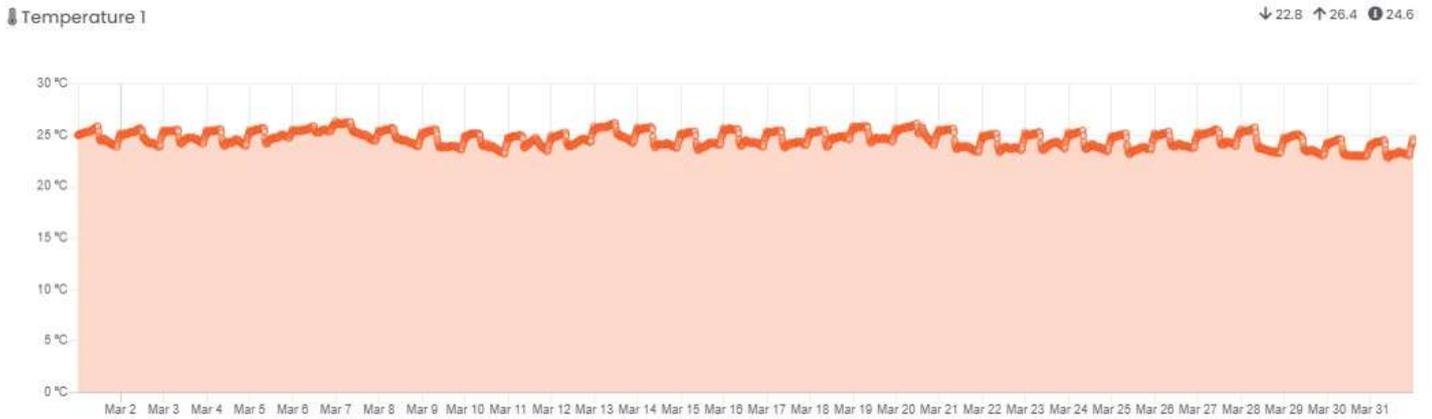
Fonte: Plataforma Sigmais

Figura 29 - Temperatura L2 FEV/22



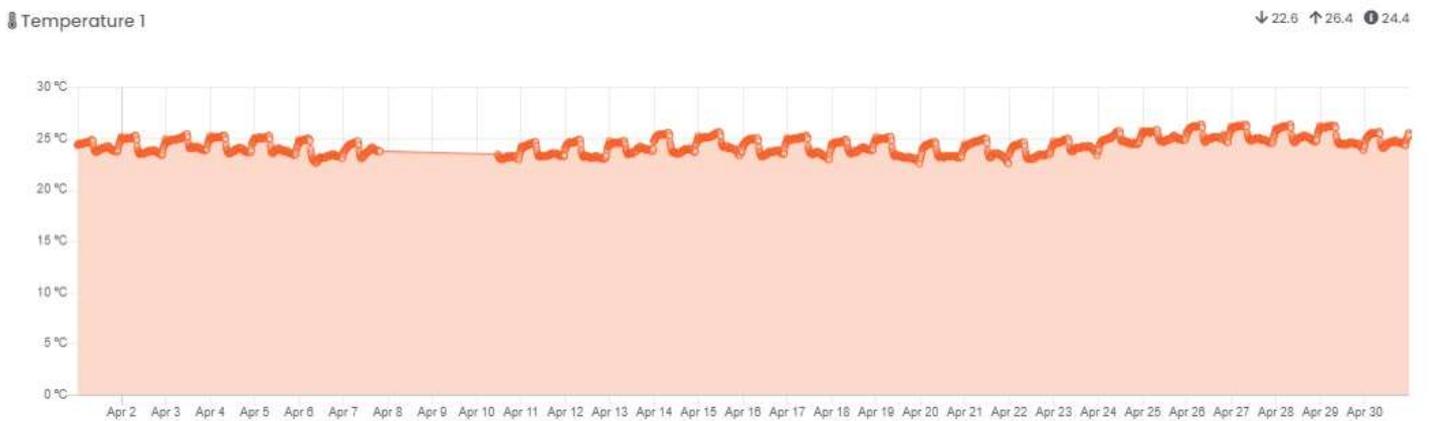
Fonte: Plataforma Sigmais

Figura 30 - Temperatura L2 MAR/22



Fonte: Plataforma Sigmais

Figura 31 - Temperatura L2 ABR/22



Fonte: Plataforma Sigmais

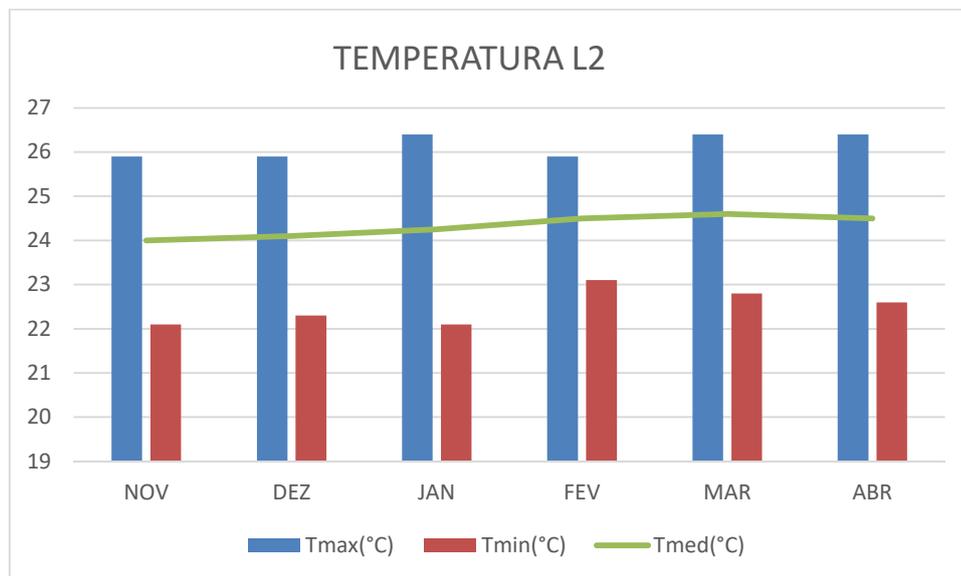
Tabela 3 - Temperatura máxima e mínima mensurada durante 6 meses no L2

TEMPERATURA L2			
MÊS	Tmax(°C)	Tmin(°C)	Tmed(°C)
NOV	25,9	22,1	24
DEZ	25,9	22,3	24,1
JAN	26,4	22,1	24,25
FEV	25,9	23,1	24,5
MAR	26,4	22,8	24,6
ABR	26,4	22,6	24,5
T'med(°C)	26,2	22,5	24,3

Fonte: Samuel Broni

Após análise de Temperatura no L2 podemos afirmar que a temperatura média está dentro dos parâmetros de conforto térmico baseados fundamentalmente no ASHRAE Handbook Fundamentals de 2005 (ASHRAE, 2005) que define temperaturas operativas internas que variam de 22,5°C a 25,5°C (para umidade relativa de 65%), e 23,0°C a 26,0°C (para umidade relativa de 35%).

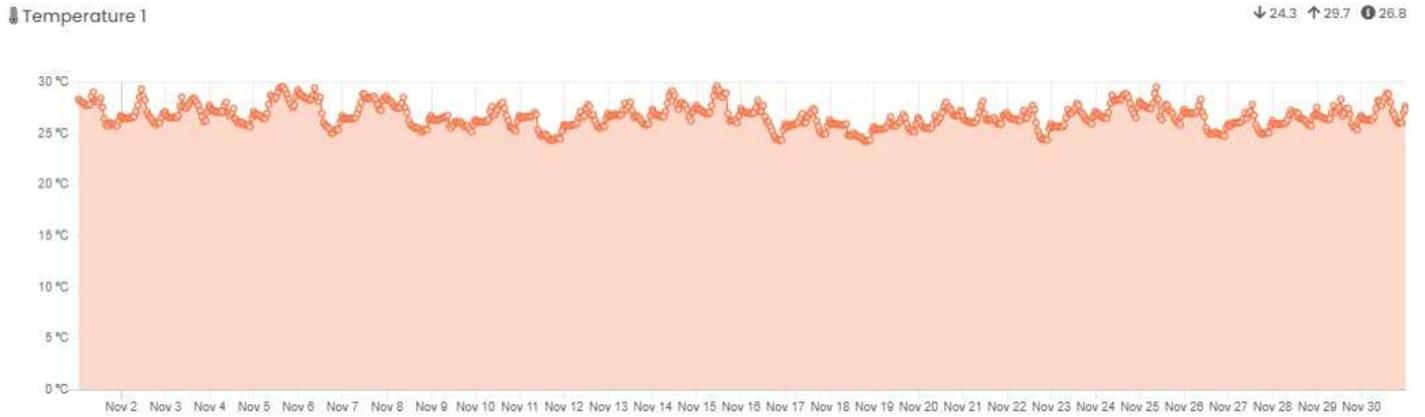
Figura 32 - Temperatura L2(Período 6 meses)



Fonte: Samuel Broni

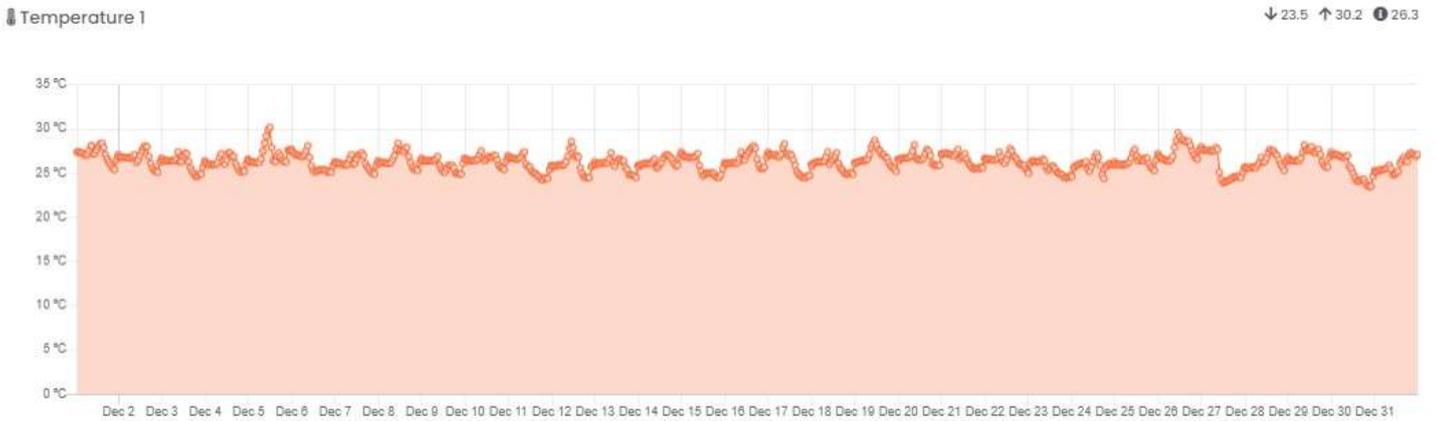
Após medição de temperatura no L2, seguimos para mensuração de temperatura no L3:

Figura 33 - Temperatura L3 NOV/21



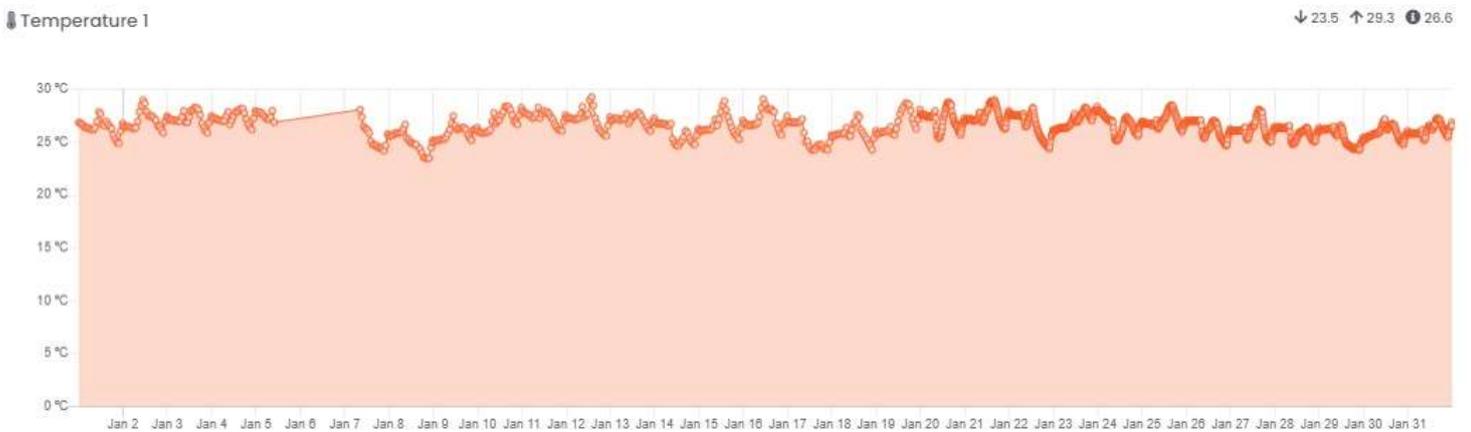
Fonte: Plataforma Sigmais

Figura 34 - Temperatura L3 DEZ/21



Fonte: Plataforma Sigmais

Figura 35 - Temperatura L3 JAN/22



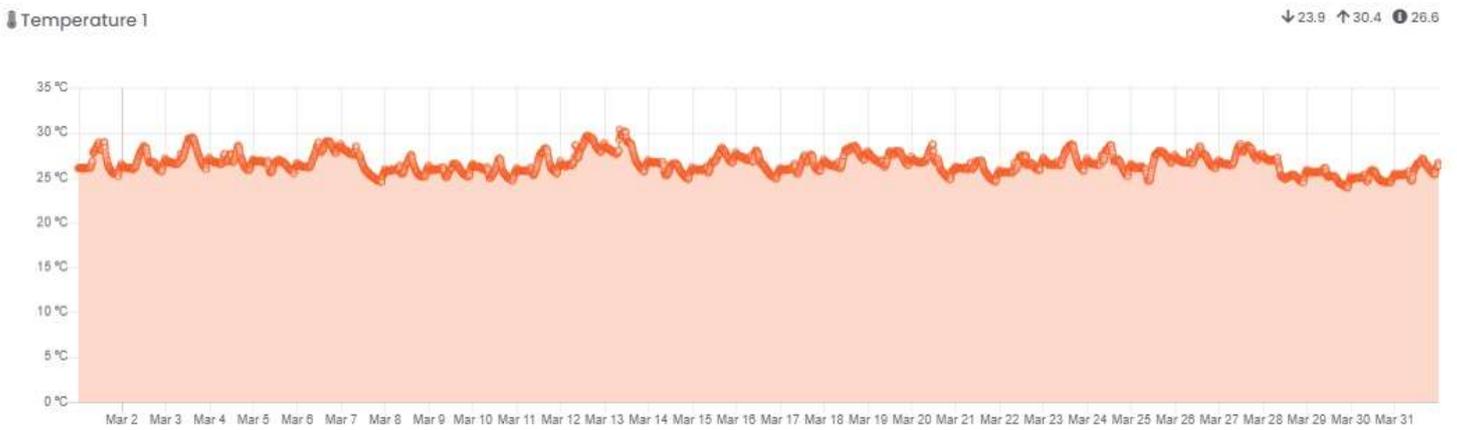
Fonte: Plataforma Sigmais

Figura 36 - Temperatura L3 FEV/22



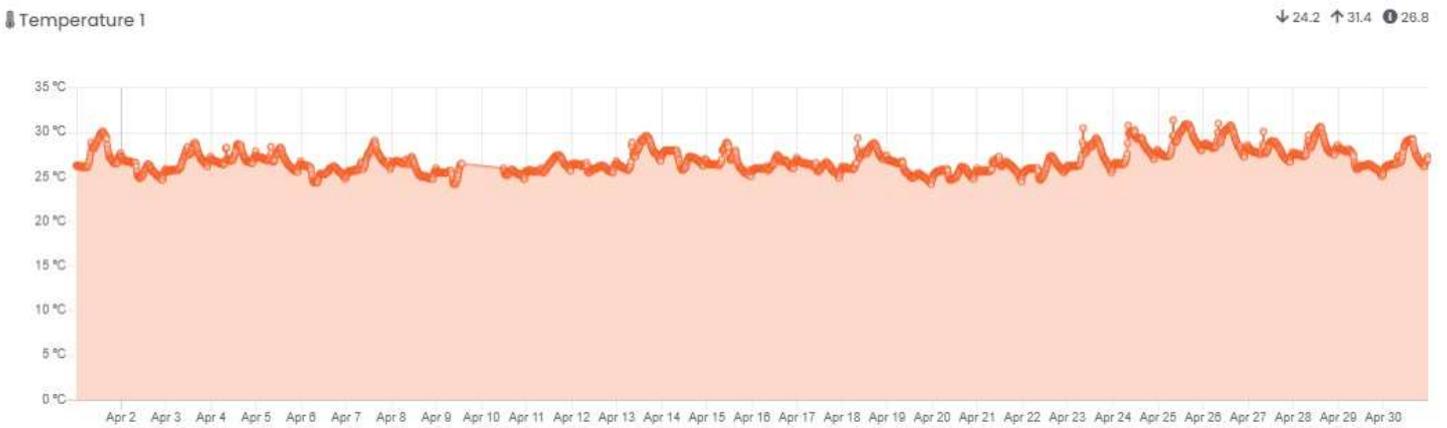
Fonte: Plataforma Sigmais

Figura 37 - Temperatura L3 MAR/22



Fonte: Plataforma Sigmais

Figura 38 - Temperatura L3 ABR/22



Fonte: Plataforma Sigmais

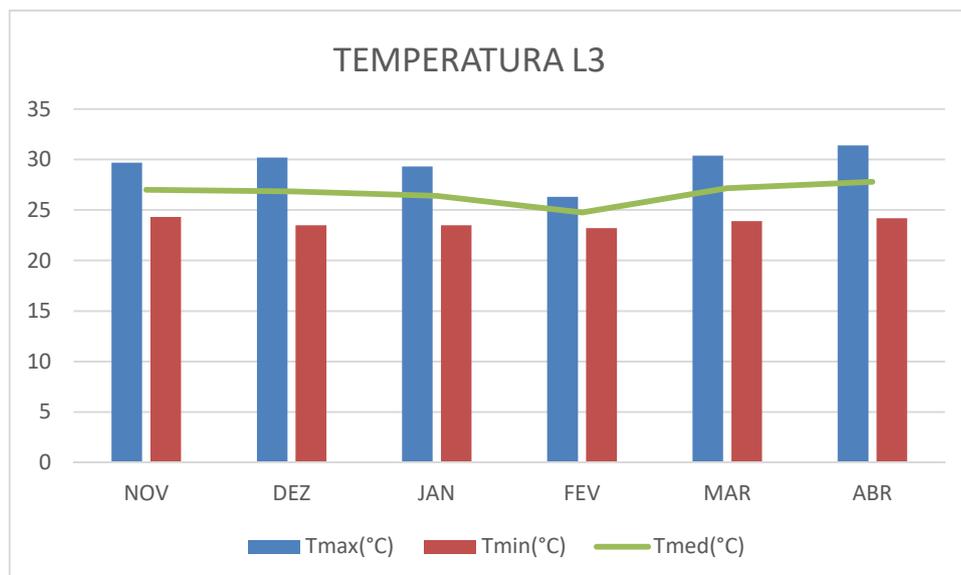
Tabela 4 - Temperatura máxima e mínima mensurada durante 6 meses no L3

TEMPERATURA L3			
MÊS	Tmax(°C)	Tmin(°C)	Tmed(°C)
NOV	29,7	24,3	27
DEZ	30,2	23,5	26,85
JAN	29,3	23,5	26,4
FEV	26,3	23,2	24,8
MAR	30,4	23,9	27,2
ABR	31,4	24,2	27,8
T'med(°C)	29,6	23,8	26,7

Fonte: Samuel Broni

Após análise de Temperatura no L3 podemos afirmar que a temperatura média está fora dos parâmetros de conforto térmico baseados fundamentalmente no ASHRAE Handbook Fundamentals de 2005 (ASHRAE, 2005) que define temperaturas operativas internas que variam de 22,5°C a 25,5°C (para umidade relativa de 65%), e 23,0°C a 26,0°C (para umidade relativa de 35%).

Figura 39 - Temperatura L3(Período de 6 Meses)



Fonte: Samuel Broni

4.7. CONDIÇÕES TÉRMICAS PARA CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA DO SISTEMA

Figura 40 – Temperatura TBS, TBU e UR

	TBS	TBU	U.R.
a. Externas:	36,0°C	27,0°C	---
b. Internas (Lojas) :	24,0°C +/- 2°C -	---	50 % +/- 10%
c. Internas (Malls)	26,0°C +/- 2°C -	---	50 % +/- 10%

Fonte: Apostila Prof. Ricardo Cruz

Definidas a partir das condições recomendáveis pela NBR-16401, lembrando que as mesmas serão mantidas quando não forem ultrapassadas as condições admitidas para o ar exterior e demais elementos considerados no cálculo das cargas térmicas.

Taxa de ocupação: Lojas: 60 W / m², Malls: 35 W / m²

Pessoas: Foram adotados os valores constantes na Norma ABNT NBR-16401 que são função do tipo de ocupação e das condições internas de cada ambiente.

Ar externo: Para a determinação da vazão de ar externo foram consideradas as metodologias de cálculo da Norma ASHRAE 62.1-2007 e a expressa na ABNT-NBR-16401, adotando-se o maior valor.

a) Foi considerada nos cálculos a dissipação térmica relativa aos motores dos ventiladores localizados nos fluxos de ar e os ganhos de calor através dos dutos.

b) O padrão construtivo das paredes, tetos e vidros atenderá às exigências da ASHRAE 90.1-2007, a saber:

- Cobertura (laje): $U = 0,045 \text{ Btu}/(\text{h.ft}^2.\text{°F})$
- Vidros: 10 mm c/ CS < 0,27, transmissão total < 0,25 / 0,70 $\text{Btu}/(\text{h.ft}^2.\text{°F})$
- Skylights (*) 10 mm c/ CS < 0,27, transmissão total < 0,25 / 0,70

$\text{Btu}/(\text{h.ft}^2.\text{°F})$

- (*) = área máxima de 30% da cobertura

c) Todas as portas que se comuniquem com o exterior e/ou ambientes não condicionados deverão permanecer fachadas.

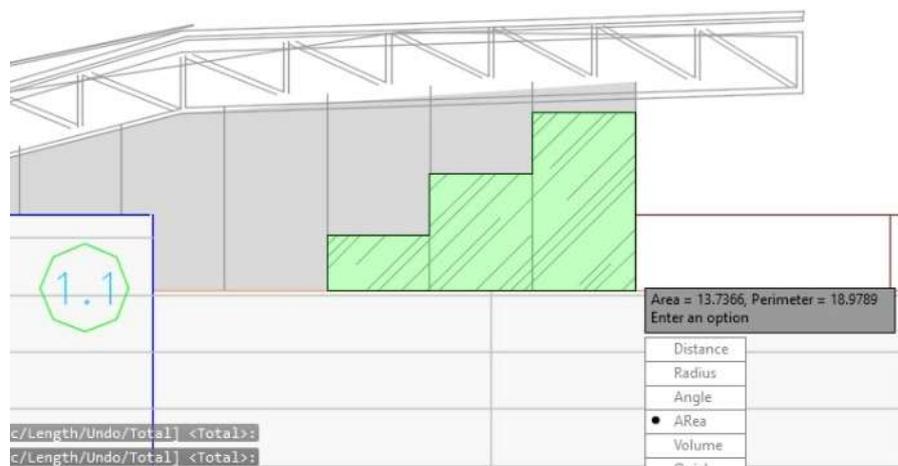
d) Foi utilizada a tabela de Cálculo de Carga térmica do Professor Eduardo Rafael Barreda para realização do estudo de Carga térmica da Praça de Alimentação.

e) Foi utilizado os seguintes parâmetros para cálculo de carga térmica:

- Área Teto: 2689,16 m²
- Área Piso: 2689,16 m²
- Área Vidros: 693,16 m²

- Área Vão Escada Rolante + Vão Americanas + Vão Cinepolis: $471,58 \text{ m}^2$
- Capacidade Máxima de Pessoas em Atividade Normal: 6.000,00 pessoas
- Capacidade Máxima de Alimentação por pessoa: 586 pessoas
- Iluminação: 36.000,00 W
- Capacidade de Fornecimento da Praça de Alimentação Real: 210 TR, 3 casas de Máquinas com Fancois de 110 TR, 50 TR e 50 TR.

Figura 41 - Área Vidro Lateral Direita



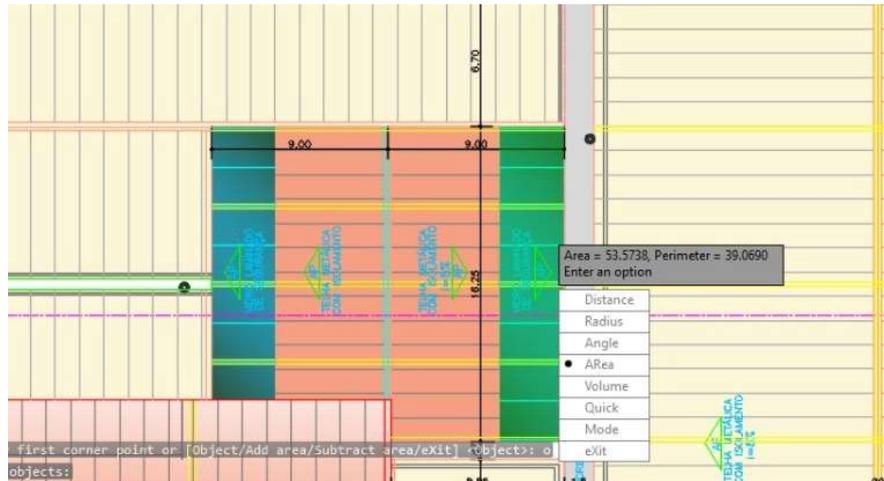
Fonte: Samuel Broni

Figura 42 - Área Vidro Lateral Esquerda



Fonte: Samuel Broni

Figura 43 - Área Clara Boia Americanas



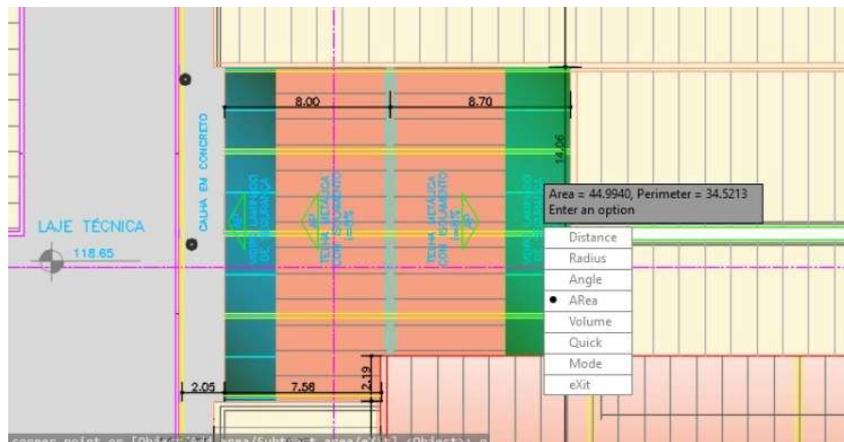
Fonte: Samuel Broni

Figura 44 – Área Clara Boia Americanas



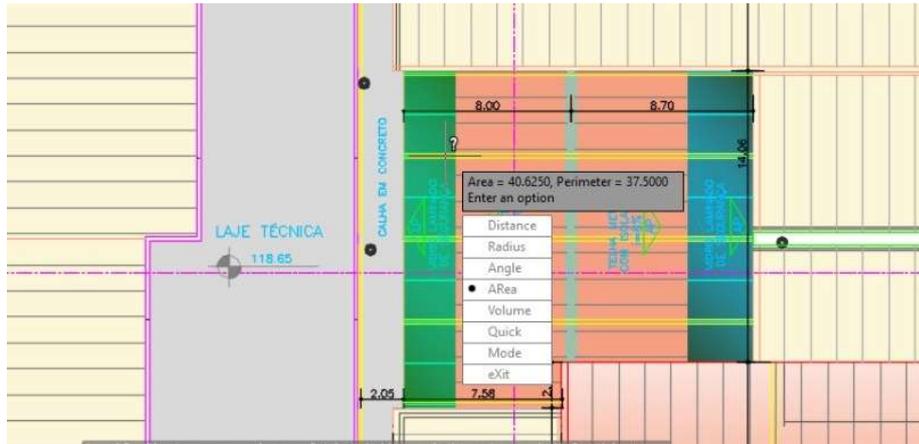
Fonte: Samuel Broni

Figura 45 – Área Clara Boia Cinepolis



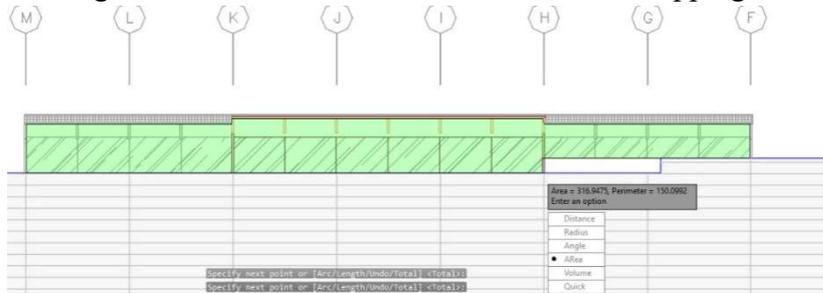
Fonte: Samuel Broni

Figura 46: Área Clara Boia Cinepolis



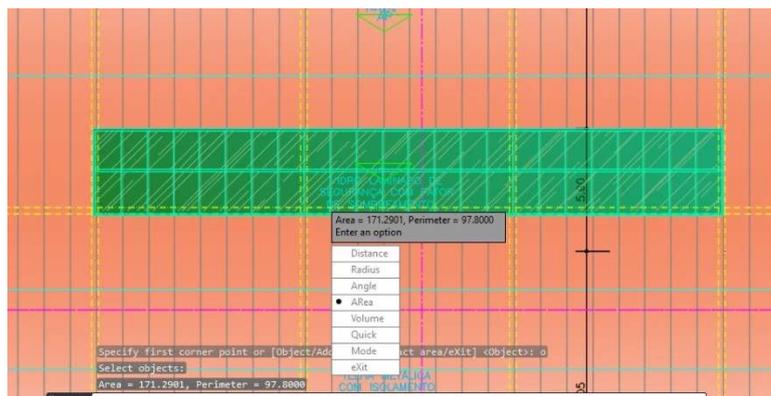
Fonte: Samuel Broni

Figura 47: Área Vidro Posterior a Fachada Shopping



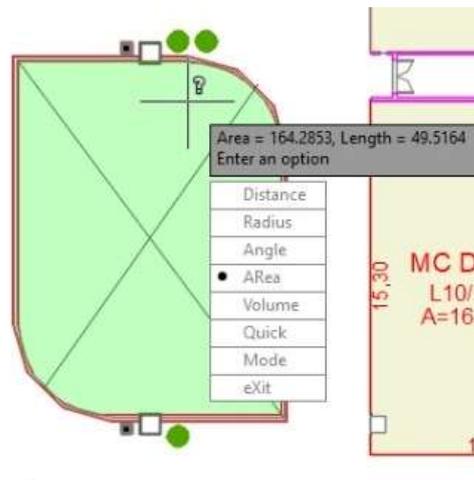
Fonte: Samuel Broni

Figura 48: Área Claraboia Praça de Alimentação



Fonte: Samuel Broni

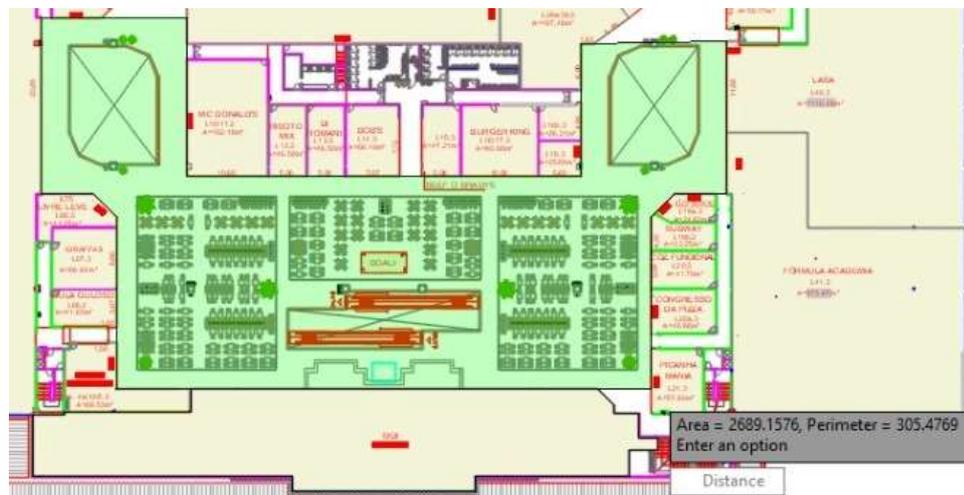
Figura 49 - Área abertura Cinepolis



Fonte: Samuel Broni

A área de Abertura de vão da americanas é igual a área de abertura Cinepolis.

Figura 50 - Área Praça de Alimentação



Fonte: Samuel Broni

Todas essas áreas foram levadas em consideração para o cálculo de carga térmica do Ambiente.

Tabela 5: Tabela Cálculo de Carga Térmica

Cálculo Simplificado de Carga Térmica**Local : PRAÇA ALIMENTAÇÃO SHOPPING**

		kcal/h	BTU/h	
Cargas Térmicas (kcal/h)	1	Janelas: Insolação	-	-
	2	Janelas: Transmissão	34.658,36	137.524,37
	3	Paredes	-	-
	4	Teto	48.404,88	192.070,56
	5	Piso	34.959,08	138.717,63
	6	Pessoas	900.000,00	3.571.200,00
	7	Outras Fontes	45.376,00	180.051,97
	8	Portas	70.737,00	280.684,42
Total		1.190.842,09	4.725.261,40	
Sub-total com Fator Geográfico		1.190.842,09	4.725.261,40	

Total (kcal/h)	1.190.842,09
Total (BTU/h)	4.725.261,40
Total (TR)	393,81
Total (kW)	1.384,71

Fonte: Professor Eduardo Rafael Del Campo Barreda

Capacidade de Fornecimento da Praça de Alimentação Necessário após Calculo:
393,81 TR.

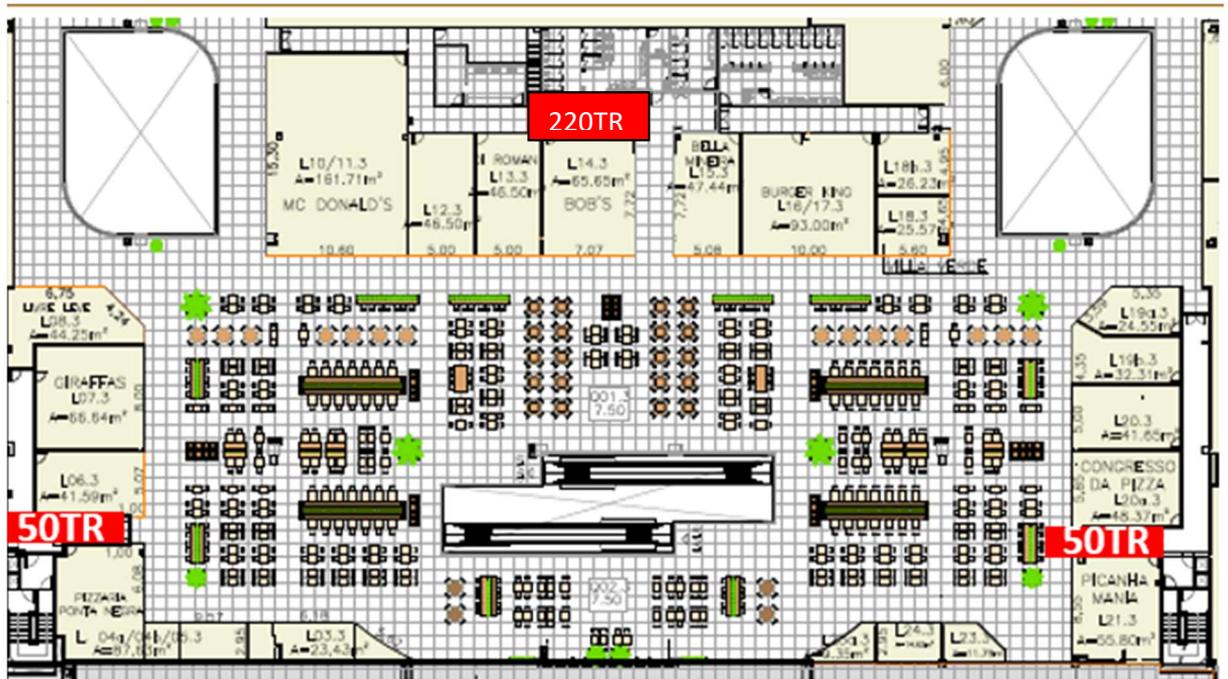
- Déficit de carga térmica: 93,81 TR

A carga Térmica instalada não é suficiente para atender a demanda da praça.

Instalação de 94 TR de fancoils: Após o cálculo de carga térmica realizado no sistema, podemos estimar a necessidade de instalação de 94 TR de Fancois para melhoria de climatização no Ambiente.

Conforme a Figura 51, podemos verificar a instalação atuais dos Fancois na Praça de Alimentação:

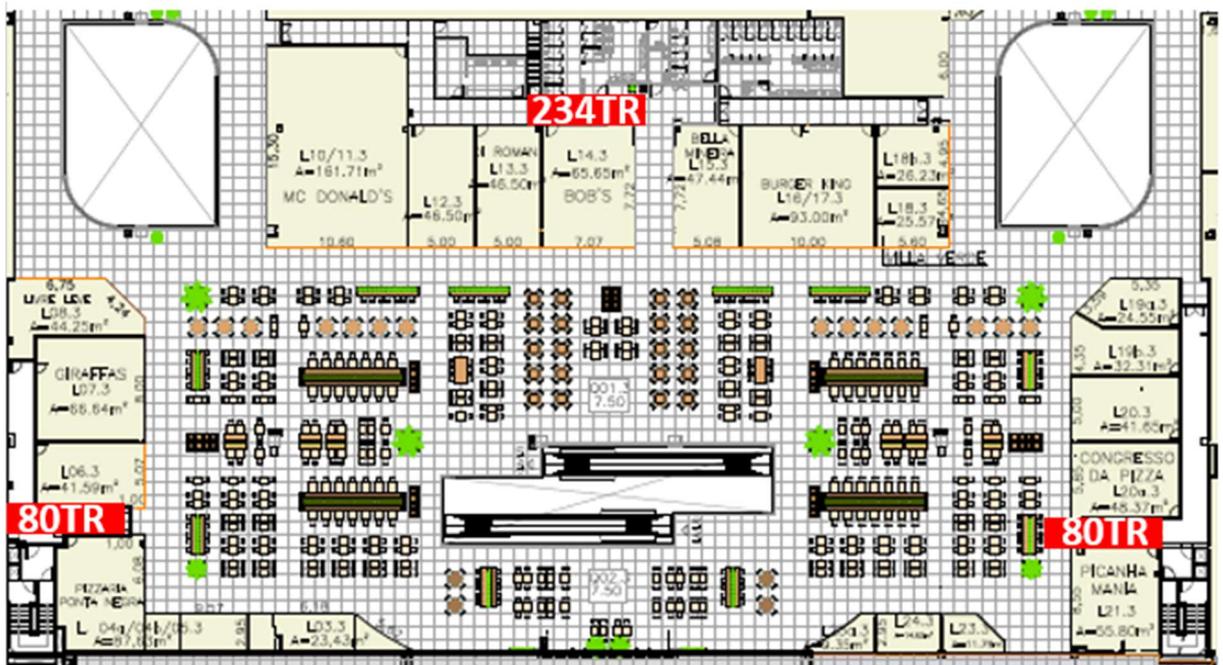
Figura 51 - Instalação Atual dos Fancois Praça de Alimentação



Fonte: Samuel Broni

Conforme a Figura 52, Segue a Sugestão de Instalação de Fancoil na Praça de Alimentação:

Figura 52: Sugestão de Instalação de Fancois para suprir o Deficit



Fonte: Samuel Broni

4.8. A SOMATÓRIA DAS ÁREAS DE RETORNO É INFERIOR AO NECESSÁRIO

O anemômetro é um equipamento que geralmente possui um cata-vento, que serve para indicar a direção e velocidade de gases ou fluidos. Esse cata-vento está fixado em uma haste vertical, equipada com sensores mecânicos ou elétricos, que registram a direção e velocidade do vento.

A utilização de um anemômetro para ar é extremamente fácil. Basta ligar o aparelho no lugar onde você pretende medir e programar para a unidade que você deseja (como Metros/segundo, Quilômetros/hora, Pés/minuto, Nós ou Milhas/hora e, no caso da temperatura, Celsius ou Fahrenheit) que o equipamento irá fornecer todos os dados.

Com o anemômetro foi possível mensurar o retorno do Fancoil da Casa de Máquinas 01 de 50 TR, assim como retorno interno e externo do Ar, Foi obtido os seguintes resultados:

Vazão do equipamento: 29.250m³/h

Vazão medida no equipamento: 25.620m³/h

Vazão medida no retorno interno: 18.361m³/h

Vazão medida no retorno externo: 7.259m³/h (5.850M³/h – 5124M³/h)

Déficit de produção: 3.630M³/h

Resolvendo apenas o Retorno teremos um ganho de: 8,3%.

Resolvendo o problema de vazão do equipamento haverá um ganho de: 14,1%.

Resolvendo os dois problemas na CM em questão (50TR), haverá um ganho de 22,4% que é equivalente a 11,15TR.

Tabela 6 – Cálculo de Retorno Fancoil

CÁLCULO DE RETORNO DO EQUIPAMENTO					
	Velocidade				
AMOSTRAS	2,4	2,4	2,8	2,2	2,8
	2,4	2,6	2,8	2,2	2,8
	2,2	1,6	2,4	2,5	2,8
				Vmed	2,46
Area serpentina	2,89				
velocidade	2,46				
Tempo	3600				
Amostra	15				
Vazão total	25593,84		Vazão total(m ³ /h)	25.620	
Vazão efetiva	20475,072		Vazão efetiva(m ³ /h)	20.496	

Fonte: Samuel Broni

Tabela 7 – Cálculo de Retorno Casa de Máquina

CÁLCULO DE RETORNO CASA DE MAQUINAS				
	Velocidade			
AMOSTRAS	5,9	3,7	7,1	
	3,5	1,5	5,4	
		Vmed	4,5167	
Area serpentina	0,7			
velocidade	4,5167			
Tempo	3600			
Amostra	6			
Vazão total	11382,084			
Vazão efetiva	9105,6672			
		Vazão total(m ³ /h)	11.382	
		Vazão efetiva(m ³ /h)	9.106	

Fonte: Samuel Broni

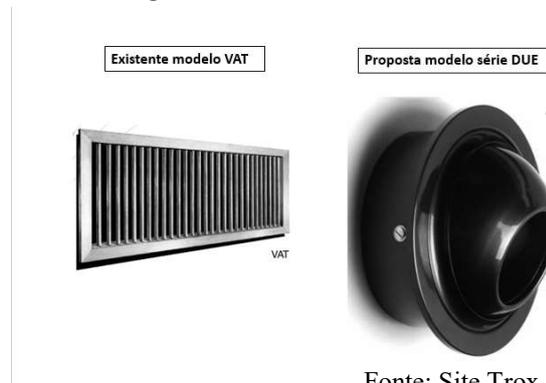
Tabela 8 – Cálculo de Retorno

CÁLCULO DE RETORNO 2				
	Velocidade			
AMOSTRAS	1,7	2,4	1,4	
	7,7	2,2	7,3	
		Vmed	3,7833	
Area serpentina	0,51			
velocidade	3,7833			
Tempo	3600			
Amostra	6			
Vazão total	6946,2			
Vazão efetiva	5556,96			
		Vazão total(m ³ /h)	6.946	
		Vazão efetiva(m ³ /h)	20.496	

Fonte: Samuel Broni

4.9. SUBSTITUIÇÃO DOS DIFUSORES DO MOLETO WAT PARA MODELO DUE

Figura 53 – Difusores VAT x DUE



Os difusores de jato de ar de longo alcance devem ser utilizados preferencialmente nos casos em que existam grandes distâncias entre o difusor e a zona de conforto. Nestes casos de grandes áreas como auditórios, salões, ginásios, Igrejas, Shopping Center.

não são possíveis distribuições uniformes do ar através de difusores de teto. Nestas situações são colocados difusores de jato de ar de longo alcance nas áreas laterais ou centrais. Como existem diferenças de temperatura entre o jato de ar e o ambiente, temos por consequência um desvio do jato de ar para cima com ar quente ou para baixo com ar frio.

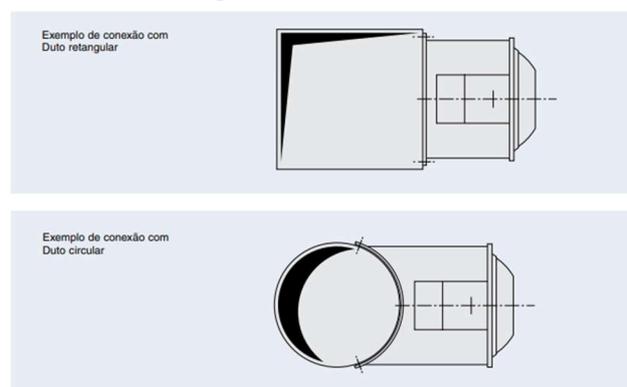
Por outro lado, a direção do jato de ar pode ser influenciada por fatores externos, como o fluxo de convecção do local e o fluxo lateral interno do local. Por este motivo, os difusores de jato de ar de longo alcance da série DUE são orientáveis em todas as direções.

A direção do jato de ar pode ser regulada de forma simples no próprio difusor. Também pode-se realizar o movimento para cima e para baixo numa faixa de $\pm 30^\circ$ (deslocando total de 60°) de forma automática através de um motor. Os difusores de jato de ar de longo alcance série DUE oferecem, devido a sua ótima construção aerodinâmica, um baixo nível sonoro. Por essa razão e por seu desenho agradável também pode ser instalado anfiteatros, salas de concertos, Museus. A grande variedade de execução, flexibilidade e adaptação às condições dadas no local, assim como, o cumprimento de altas exigências acústicas, possibilita o uso dos difusores de jato de ar de longo alcance em quase todas as aplicações. Ao variar a diferença de temperatura do jato de ar, deve-se ter em conta os desvios do jato conforme o gráfico 2. Os níveis de potência sonora são variados para os tipos DUE-S e DUE-V. Para outras execuções devem ser aplicados eventualmente correções. Não foram considerados velocidades iniciais do jato de ar inferiores a 2 m/s. Também foram excluídos valores superiores a um nível de potência

sonora de 60 dB (A). Valores superiores ou inferiores aos da tabela pode ser obtido nos gráficos. A tabela abaixo permite uma pré-seleção global do tamanho do difusor.

Os difusores são adequados para montagem em dutos circulares ou retangulares. Para ambos os tipos de conexão são fornecidos com um flange de chapa sem furar para montagem conforme necessidade, com parafuso ou rebites. É recomendável colocar previamente uma junta de vedação. Para montagem direto no duto circular é fornecido com um flange de conexão. O difusor e anel de montagem são de alumínio. Os dutos e flange são de chapa de aço galvanizada.

Figura 54 – Difusor Due



Fonte: Samuel Broni

5. SÍNTESE CONCLUSIVA

O bom Funcionamento de um sistema de Refrigeração é de suma importância para Operação de um Shopping Center, poder gerar conforto térmico aos clientes e colaboradores é essencial para uma boa experiencia no empreendimento, este trabalho teve como objetivo realizar um diagnóstico de um sistema de Refrigeração por chiller visão a melhoria da Eficiência térmica do Sistema.

Durante o percurso foram realizadas análises em cada componente do sistema do sistema visando encontrar melhorias para o Funcionamento do Sistema, assim como o monitoramento da temperatura no Mall. Após as análises de temperatura realizadas pelo Soft da Sigmais conseguimos identificar o ponto mais crítico do Empreendimento, a praça de Alimentação do Shopping.

Segundo a ASHRAE Handbook Fundamentals de 2005 (ASHRAE, 2005) as temperaturas operativas internas devem variar de 22,5°C a 25,5°C (para umidade relativa de 65%), e 23,0°C a 26,0°C (para umidade relativa de 35%) e foi mensurado através do Sistema Iot da Sigmais temperaturas de até 31,4°C, totalmente fora dos padrões.

Foi realizado um estudo de Carga térmica do Ambiente e foi encontrado um déficit de aproximadamente de 94 TR, além do déficit de carga térmica, foi encontrado problema no retorno das casas de máquinas gerando perda de Eficiência nos Fancois.

Foi sugerido a troca dos difusores do modelo VAT pelo modelo Due que são difusores de jato de longo alcance devem ser utilizados preferencialmente nos casos em que existam grandes distâncias entre o difusor e a zona de conforto, podendo atingir até 30 metros de alcance.

REFEÊNCIAS

Silva, Jesué Graciliano da Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização / Jesué Graciliano da Silva. - São Paulo: Artliber Editora, 2003.

ABNT. **Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de conforto térmico**, NBR 16401-2. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

ASHRAE. **ASHRAE Handbook: Fundamentals - SI edition, Chapter 8, Thermal Comfort**. Atlanta, Ga.: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning, Atlanta, Ga.: ASHRAE, 2005.

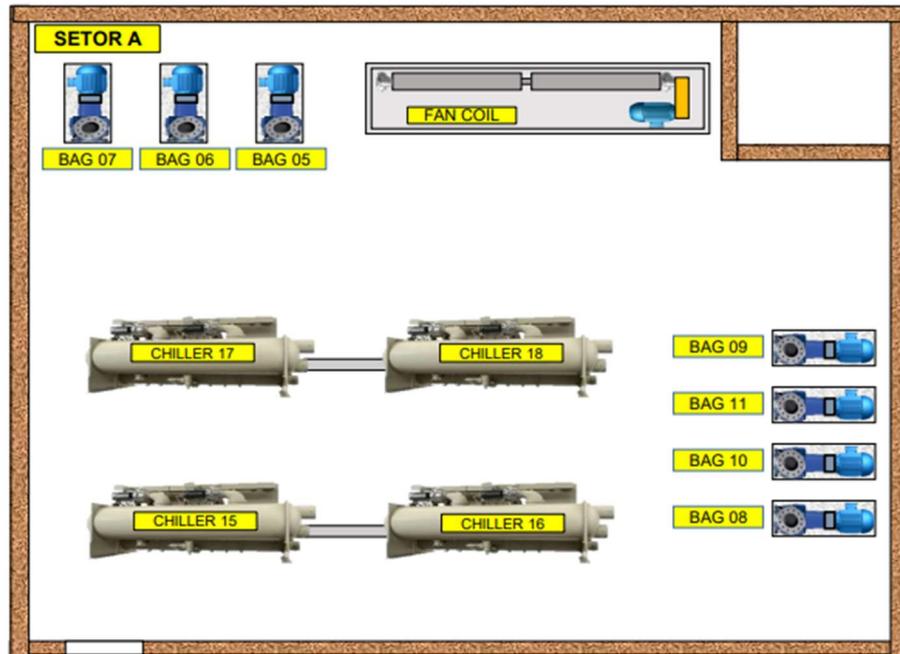
ASHRAE STANDARD 55. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, Georgia: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017.

CÂNDIDO, C. et al. Towards a Brazilian standard for naturally ventilated buildings: guidelines for thermal and air movement acceptability. **Proceedings of 6th Windsor Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort**. Anais...Cumberland Lodge, Windsor, UK. 9-11 April 2010.

FANGER, P. O. **Thermal comfort - analysis and applications in environmental engineering**. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

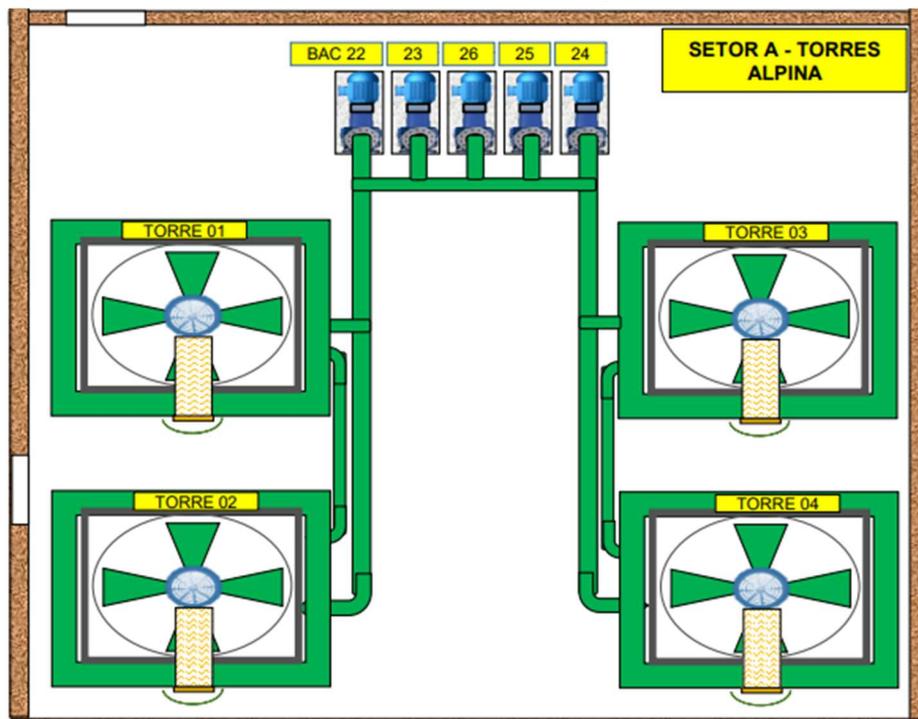
ANEXO A – PLANTAS C.A.G E L3

Figura 55 – Planta C.A.G



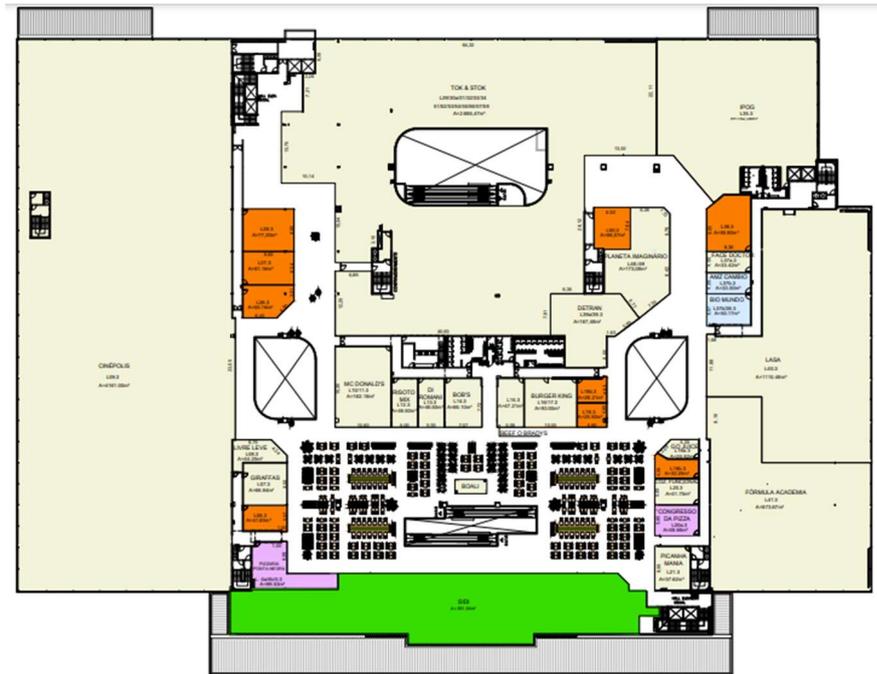
Fonte: Samuel Broni

Figura 56 – Planta Torre Alpina



Fonte: Samuel Broni

Figura 57 – Planta L3



Fonte: Samuel Broni

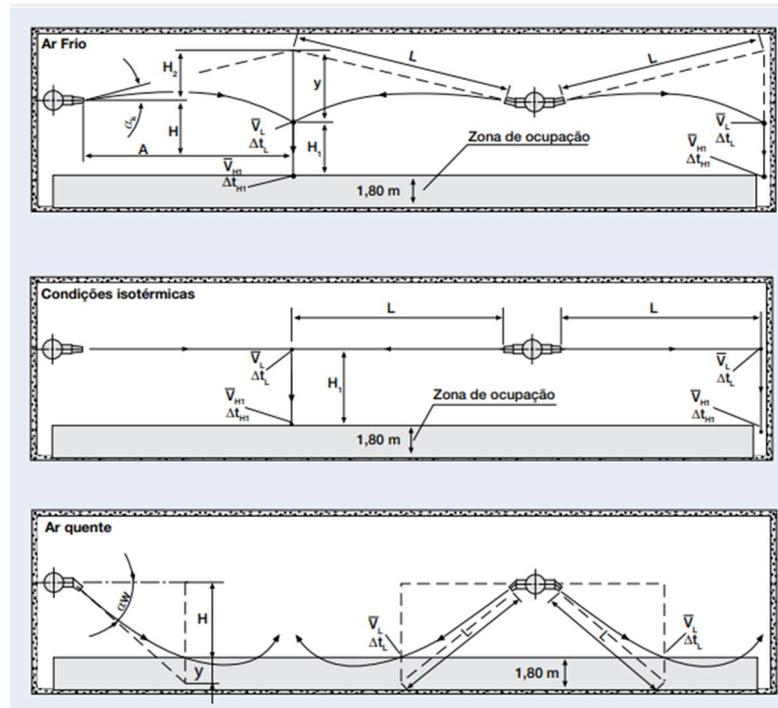
ANEXO B – DADOS TÉCNICOS E FUNCIONAMENTO DIFUSOR DUE

Figura 58 – Dados Técnicos Difusor Due

Dados técnicos com conexão axial dos tipos DUE-S e DUE-V													
Tamanho	Alcance												Velocidade do ar \bar{V}_L m/s
	10 m				20m				30 m				
	\bar{V}		LWA	LWNC	\bar{V}		LWA	LWNC	\bar{V}		LWA	LWNC	
	l/s	m³/h	dB(A)	NC	l/s	m³/h	dB(A)	NC	l/s	m³/h	dB(A)	NC	
100*	11	40	<20	<20	22	80	20	<20	33	120	32	28	0.2
125*	15	54	<20	<20	30	108	20	<20	45	162	30	26	
160	18	66	<20	<20	37	132	20	<20	55	199	27	23	
200	24	87	<20	<20	48	174	<20	<20	73	261	22	<20	
250	31	110	<20	<20	61	220	<20	<20	91	329	<20	<20	
315	-	-	-	-	78	280	<20	<20	117	421	<20	<20	
400	-	-	-	-	103	371	<20	<20	155	557	<20	<20	0.5
100	32	115	32	28	55	198	50	46	-	-	-	-	
125	38	137	25	21	75	270	45	41	112	403	50	46	
160	46	165	20	<20	92	331	41	37	138	496	53	49	
200	61	218	<20	<20	121	436	36	31	182	654	48	43	
250	76	274	<20	<20	153	549	33	26	229	823	44	38	
315	98	351	<20	<20	195	702	28	23	293	1053	39	34	
400	129	464	<20	<20	258	928	25	22	387	1392	36	33	1.0
100	56	202	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
125	76	274	45	-	150	540	53	49	-	-	-	-	
160	92	330	42	38	184	662	61	57	-	-	-	-	
200	121	436	36	31	242	872	56	51	-	-	-	-	
250	152	548	33	26	305	1098	52	46	-	-	-	-	
315	195	702	28	23	390	1404	48	43	585	2106	58	53	
400	258	928	25	22	516	1856	45	41	773	2784	56	52	

Fonte: Site Trox

Figura 59 – Zona de Ocupação Difusor



Fonte: Site Trox

ANEXO C – TABELAS PARA CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

Figura 60 – Velocidade ar para ventilação

Local	Preferível (m/s)			Máxima (m/s)		
	Residências	Escolas, teatros e edifícios públicos	Edifícios industriais	Residências	Escolas, teatros e edifícios públicos	Edifícios industriais
Tomada de ar externo	3,5	4,2	5,0	4,2	4,5	6,2
Filtros	1,3	1,5	1,8	1,8	1,8	1,8
Serpentinas	2,3	2,5	3,0	2,5	3,0	3,5
Ventilador	5 a 8,3	2,5	8,3 a 12,5	2,5	10,8	14,2
Dutos principais	3,3 a 4,7	5,0 a 9,7	5,8 a 9,2	5,0	7,2	10,0
Ramais horizontais	3,0	3,0 a 4,5	4,0 a 5,0	3,5	5,0	6,2
Ramais verticais	2,5	3,0 a 3,5	4,2	3,3	4,7	5,0

Fonte: Adaptado da NB 10/1978(ABNT)

Figura 61 – Fator de Infiltração pelo movimento de Pessoas

Local	f_P [m³/h.pessoa]	
	Porta giratória de 1,8 m	Porta vai-e-vem de 0,9 m
Bancos	11	14
Barbearias	7	9
Drogarias	10	12
Escritórios movimentados	9	9
Escritórios privados, quartos de hotel	—	7
Lojas	32	51
Quartos de hospital	12	14
Restaurantes	3	4
Salas de chá	7	9
Tipo de abertura	Caráter	f_F [m³/h.m _{fresta}]
Janela comum de madeira	Mal ajustada	3
Janela basculante	Mal ajustada	3
Janela guilhotina com caixilho de madeira	Mal ajustada	6,5
	Bem ajustada	2
Janela guilhotina com caixilho metálico	Sem vedação	4,5
	Com vedação	1,8
Porta	Mal ajustada	13
	Bem ajustada	6,5

Fonte: Apostila Prof. Ricardo Cruz

Figura 62 – Taxa de Calor sensível e latente para equipamentos

Fonte	t_s [kcal/h]	t_L [kcal/h]
Elétricos		
· Forno	690/kW	170/kW
· Torradeira e grelhador	770/kW	90/kW
· Mesa quente	800/m²	2 170/m²
· Cafeteira	40/litro	40/litro
· Motor	860/kW	—
· Outros	860/kW	—
A gás		
· Bico de Bunsen a GLP – grande ^a	750/unid.	—
· Bico de Bunsen a GN – grande ^a	1 260/unid.	—
· Bico de Bunsen a GLP – pequeno ^a	450/unid.	—
· Bico de Bunsen a GN – pequeno ^a	750/unid.	—
· Forno de cozinha a GLP ^b	3 000/(m³/h)	1 500/(m³/h)
· Forno de cozinha a GN ^b	6 000/(m³/h)	2 900/(m³/h)
· Mesa quente	1 100/m²	2 500/m²
· Cafeteira	35/litro	35/litro
· Outros queimadores a GLP ^b	4 50/(m³/h)	450³/(m³/h)
· Outros queimadores a GN ^b	8 000/(m³/h)	900³/(m³/h)
A vapor		
· Tubo de superfície áspera	1 080/m²	—
· Tubo de superfície polida	600/m²	—
· Tubo isolado	300/m²	—
· Superfície plana áspera	900/m²	—
· Superfície plana polida	350/m²	—
· Superfície plana isolada	220/m²	—
Outro		
· Alimento cozido sobre prato	8/pessoa	8/pessoa

Fonte: Apostila Prof. Ricardo Cruz

Figura 63 – taxa de calor Sensível e Latente

Atividade	Local	Temperatura de bulbo seco local (C)									
		28		27		26		24		21	
		Calor emitido [kcal/h.pessoa]									
		S	L	S	L	S	L	S	L	S	L
Reposo sentado	Teatro	44	44	49	39	53	35	58	30	65	23
Trabalho leve Sentado	Escola	45	55	48	52	54	46	63	40	68	32
Trabalho de Escritório	Escritório	45	68	50	63	54	59	61	52	71	42
Marcha lenta	Loja Passeio	45	81	50	76	55	71	64	62	73	53
Sentado/de pé (al- ternância) Palestra	Banco Balcão de loja Escola										
Conversa sentada	Restaurante	48	91	55	84	61	78	71	68	81	58
Trabalho de oficina sentado	Fábrica	48	141	55	134	62	127	74	115	92	58
Dança	Salão de baile	55	159	62	152	69	145	82	132	101	113
Marcha rápida	Fábrica Loja	68	154	76	176	83	169	96	156	114	134
Trabalho penoso	Boliche Fábrica	113	252	117	248	122	243	132	233	152	213

Fonte: Adaptado de Carrier (1990). Nota: S – sensível; L – latente. Obs: notar que S se eleva e L se reduz, com a redução da temperatura de bulbo seco local.

Fonte: Apostila Prof. Ricardo Cruz

Figura 64 – Diferença de Temperatura

Tipo de telhado	Hora do Dia								
	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Insolado									
- Concreto 5 cm	3,3	16,7	26,6	32,2	27,8	17,8	7,8	3,3	1,1
- Concreto 5 cm com isolante de 2,5 a 5 cm	3,3	16,7	26,6	32,2	27,8	17,8	7,8	3,3	1,1
- Concreto 5 cm com forro	0	11,1	22,2	28,9	30,0	23,3	11,1	5,6	3,3
- Concreto 10 cm	0	11,1	21,1	27,8	28,9	22,2	12,2	6,7	3,3
- Concreto 10 cm com isolante de 5 cm	0	11,1	21,1	27,8	28,9	22,2	12,2	6,7	3,3
- Concreto 15 cm	2,2	3,3	13,3	21,1	25,6	24,4	17,8	10,0	6,7
- Concreto 15 cm com isolante de 5 cm	2,2	3,3	13,3	21,1	25,6	24,4	17,8	10,0	6,7
- Qualquer material com duas águas de 15 cm	-1,1	0	0	3,3	5,6	5,6	4,4	2,2	0
Sombreado									
- Construção leve a média	-2,2	0	3,3	6,7	7,8	6,7	4,4	1,1	0

Fonte: Silva (1968).

Fonte: Apostila Prof. Ricardo Cruz

Figura 65 – Condição de Contorno para o verão

Finalidade	Local	Recomendável		Máximo admissível	
		T_{BS} [C]	ϕ [%]	T_{BS} [C]	ϕ [%]
Conforto	Residências Hotéis Escritórios Escolas	23 a 25	40 a 60	26,5	65
Lojas de curto tempo de ocupação	Bancos Barbearias Cabeleireiros Lojas Magazines Supermercados	24 a 26	40 a 60	27	65
Ambientes com grandes cargas de calor latente e/ou sensível	Teatros Auditórios Templos Cinemas Bares Lanchonetes Restaurantes Bibliotecas Estúdios	24 a 26	40 a 65	27	65
Locais de reuniões com movimento	Boates Salões de baile	24 a 26	40 a 65	27	65
Ambientes de arte	Depósitos de livros, manuscritos, obras raras	21 a 23 ^a	40 a 50 ^a	—	—
Acesso	Antesalas de elevadores	—	—	28	70

Fonte: NB 10/1978(ABNT)

Figura 66 – Condição de Verão nas cidades Brasileiras da Região Norte

Cidade	T_{BS} [C]		T_{BU} [C]
	Média	Máxima	
Manaus (AM)	35	36,9	29 ^a
Santarém (PA)	35	37,3	28,5
Macapá (AP)	34	34,7	28,5
Belém (PA)	33	34,9	27

Fonte: NB 10/1978(ABNT)