



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS**

CAMPUS MANAUS CENTRO

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

AFRANIO GUIMARÃES DOS REIS

**INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO DE
UMA SALA DE CONTROLE EM UMA REFINARIA DE PETRÓLEO**

MANAUS

2021

AFRANIO GUIMARÃES DOS REIS

**INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO DE
UMA SALA DE CONTROLE EM UMA REFINARIA DE PETRÓLEO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do
Amazonas, como requisito para obtenção
do título em Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Josimar Soares

MANAUS

2021

Biblioteca do IFAM- Campus Manaus Centro

R375i Reis, Afranio Guimarães dos.

Instalação de um sistema de ventilação e ar condicionado de uma salade controle em uma refinaria de petróleo / Afranio Guimarães dos Reis. –Manaus, 2021.

59 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus ManausCentro*, 20214.

Orientador: Prof. Dr. José Josimar Soares.

1. Engenharia mecânica. 2. Sistema de ar condicionado. 3. Carga térmica. 4. Conforto térmico. 5. Qualidade do ar. I. Soares, José Josimar.(Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas III. Título.

CDD 621

AFRANIO GUIMARÃES DOS REIS

**INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO DE
UMA SALA DE CONTROLE EM UMA REFINARIA DE PETRÓLEO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do
Amazonas, como requisito para obtenção
do título em Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Aprovado em, 09 de abril de 2021.

BANCA EXAMINADORA

(Assinado digitalmente em 10/04/2021 17:50)

JOSE JOSIMAR SOARES

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

Matrícula: 1961168

(Assinado digitalmente em 12/04/2021 10:15)

RUBEVAN MEDEIROS LINS

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

Matrícula: 258888

(Assinado digitalmente em 12/04/2021 10:27)

SIDNEY ASSIS CHAGAS

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

Matrícula: 1015898

MANAUS

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Deus, por ter me dado força e saúde nesta etapa da minha vida e pela graça de ter alcançado esta vitória acadêmica.

Aos meus pais e irmãos que desde sempre me apoiaram e me incentivaram nas minhas escolhas, por todo amor, carinho e conselhos dados.

A toda minha família, em especial à minha esposa que sempre compreensiva e com todo carinho cuidando do nosso filho Adriano, contribuiu bastante nas horas em que estive ausente, para que eu tivesse tempo e tudo isso se tornasse possível.

E ao Instituto Federal do Amazonas, em particular a todos os professores do curso de Engenharia Mecânica, que contribuíram com os ensinamentos ao longo de todo o período do curso e que fizeram com que este sonho se tornasse realidade.

RESUMO:

As Instalações de sistemas de ventilação e ar condicionado em ambientes públicos e coletivos são de fundamental importância para garantir o controle de forma simultânea de parâmetros que determinam o conforto térmico dos ocupantes. Além de garantir o conforto térmico, o perfeito funcionamento desse tipo de sistema, vai proporcionar níveis de qualidade e pureza do ar dentro de padrões aceitáveis, eliminando ou minimizando a propagação de doenças que podem afetar a saúde humana. No Brasil existem normas e leis que definem os critérios de instalação para os sistemas de ventilação e ar condicionado. Neste trabalho foi realizado um estudo com bases nas normas brasileiras vigentes que regem as instalações desses sistemas, para avaliar se os requisitos normativos foram cumpridos de forma a garantir os parâmetros adequados de conforto térmico e qualidade do ar. Desta forma esta pesquisa tem como objetivo avaliar se a instalação de um sistema de ventilação e ar condicionado em uma sala de controle de uma refinaria de petróleo apresenta o rendimento esperado para qual foi projetado.

Palavras-chave: Sistemas de ar condicionado; Carga térmica; Conforto térmico; Qualidade do Ar.

ABSTRACT:

Ventilation installation and air-conditioning systems in public and collective places are highly important to guarantee simultaneously the parameters control that determine the thermal comfort of the occupants. In addition to ensuring the thermal comfort, the perfect functioning of this type of system will provide levels of air quality and purity within acceptable standards, eliminating or minimizing the spread of diseases that might affect the human health. In Brazil there are norms and laws that define the installation criteria for air-conditioning systems. In this work, a study was carried out based on the current Brazilian standards that rule the installation of these systems, to evaluate whether the normative requirements were met in order to ensure the appropriate parameters of thermal comfort and air quality. Thus, this research aims to evaluate whether the installation of a ventilation and air conditioning system in a control room of an oil refinery presents the expected performance for which it was designed.

Keywords: Air conditioning systems; thermal load; Thermal comfort; Air quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma para especificação de projeto.....	11
Figura 2 - Formato das tabelas de dados e legendas da norma NBR 16401 (2008)	14
Figura 3 - Sistema de ar condicionado de zona simples	14
Figura 4 - Sistemas de múltiplas zonas e vazão de ar varável.....	15
Figura 5 – Voto médio estimado.....	17
Figura 6 - Esquema de uma casa de máquina.....	34
Figura 7- Esquema de um isolamento de duto de ar.....	35
Figura 8 - Dados climáticos de projeto	42
Figura 9 - Pontos de estado	43
Figura 10 - Equipamento para medição dos parâmetros de conforto.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas de conforto para temperaturas operativas	18
Tabela 2 - Velocidade média do ar.....	18
Tabela 3 - Coeficientes globais de transferência de calor aproximados	22
Tabela 4 - Diferentes coeficientes de sombreamento para vidros.....	23
Tabela 5 - $FGCI_{max}$ (W/m ²). Latitude -23,5° (sul)	24
Tabela 6 - $FGCI_{max}$ (W/m ²). Latitude -32,0° (sul)	24
Tabela 7 - $FGCI_{max}$ (W/m ²). Latitude -28,0° (sul)	25
Tabela 8 - Troca de ar por hora nos recintos	26
Tabela 9 - Infiltração de ar exterior pelas frestas	28
Tabela 10 - Infiltração de ar exterior pelas portas	28
Tabela 11 - Taxas típicas de calor liberado por pessoas	30
Tabela 12 - Valores de referência para ocupação de alguns recintos.....	31
Tabela 13 – Resumo dos tipos de filtros	36
Tabela 14 - Exemplo de tamanhos comerciais de tomadas de ar externo.....	37
Tabela 15 – Dimensionamento das áreas dos ambientes.....	43
Tabela 16- Taxa de ocupação.....	44
Tabela 17 - TAE e grelhas de retorno	45
Tabela 18 – Vazão eficaz calculada.....	46
Tabela 19 - Fator de eficiência da distribuição de ar na zona de ventilação	46
Tabela 20 - Dissipação dos equipamentos	47
Tabela 21 - Resumo dos dados	48
Tabela 22 – Especificação da unidade condicionadora de ar <i>self contained</i>	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	PROJETOS DE SISTEMAS DE VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO	10
2.2	CONDIÇÕES DE PROJETO	12
2.3	SISTEMAS DE AR CONDICIONADO.....	14
2.4	CONFORTO TÉRMICO.....	16
2.5	ESTIMATIVA DE CARGA TÉRMICA.....	19
2.5.1	Ganhos de calor por insolação sobre superfícies opacas.....	20
2.5.2	Ganhos de calor por paredes internas	21
2.5.3	Ganhos de calor por insolação sobre superfícies transparentes	22
2.5.4	Ganhos de calor pelo ar externo	25
2.5.5	Ganhos de calor por ocupação de pessoas.....	29
2.5.6	Ganhos de calor por iluminação e equipamentos no ambiente	31
2.5.7	Determinação da Carga Térmica Total.....	32
2.5.8	Determinação do ar de insuflamento	33
2.6	SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E DETALHAMENTO DO PROJETO	33
2.6.1	Casa de máquinas	34
2.6.2	Isolamento da rede dutos	35
2.6.3	Filtros.....	35
2.6.4	Tomada de ar externo.....	36
2.6.5	Definição do tipo de automação do sistema	37
2.7	PROJETO DA REDE DE DUTOS	38
3	METODOLOGIA.....	40
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DA PESQUISA.....	40
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	42

4.1	APRESENTAÇÃO DO OBJETO DA PESQUISA	42
4.1.1	Características da construção.....	43
4.1.2	Características da ocupação dos ambientes	44
4.1.3	Características da renovação de ar	45
4.1.4	Dados de carga térmica	47
4.2	MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS DE CONFORTO TÉRMICOS	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
6	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

O projeto de um sistema ventilação e ar condicionado é uma atividade no ramo da Engenharia Mecânica que envolve os conhecimentos adquiridos nas disciplinas de desenho técnico, transferência de calor, termodinâmica, mecânica dos fluidos e sistemas de ar condicionado.

As instalações dos sistemas de ventilação e ar condicionado no Brasil são regidas pela norma brasileira NBR 16401, de 04 de setembro de 2008, com o título, Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários, que define os requisitos normativos que devem ser previstos nos projetos, para que o sistema atenda aos parâmetros desejados de conforto térmico e qualidade do ar. Essa norma, está dividida em três partes a saber: 1) projetos das Instalações; 2) Parâmetros de conforto térmico e 3) Qualidade do ar interior.

Atualmente devido à propagação de doenças, faz da qualidade do ar interior, um dos motivos de grande preocupação para os projetistas de sistemas de climatização. A qualidade do ar interior está diretamente relacionada com a saúde, com o conforto e com o desempenho dos ocupantes de ambiente artificialmente climatizados.

O processo de avaliação de problemas relacionados à qualidade do ar em ambientes considerados artificialmente climatizados, envolve diversos fatores tais como, localização do ambiente, qualidade do ar externo captado através do sistema de ventilação por uma tomada de ar externo, a taxa de ocupação dos ambientes, o fluxo de pessoas e principalmente manutenção do sistema. Muitos dos problemas relacionados à qualidade do ar, estão relacionados com a manutenção e limpeza do sistema. Para isso, a Lei Federal 13.589 de 04 de janeiro de 2018, obriga que todos os edifícios de uso público e coletivo que possuem ambientes de ar interior climatizado artificialmente, devem dispor de um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC) dos respectivos sistemas de climatização, visando à eliminação ou minimização de riscos potenciais à saúde dos ocupantes.

Para que a instalação de um sistema de ventilação e ar condicionado seja bem executada, o projeto deve ser bem concebido, com todas as informações necessárias de dimensionamento, de especificação de equipamentos, com suas memórias de cálculo, folha de dados, e memoriais descritivos.

Um sistema de ventilação e ar condicionado é composto de componentes e equipamentos dispostos em sequência para pressurizar e condicionar o ar no interior de um ambiente. O ar é transportado para um espaço e os parâmetros ambientais internos, temperatura, umidade relativa, velocidade e pressão do ar, são controlados dentro de limites especificados em norma. Este sistema é instalado com a finalidade de conforto térmico e segurança dos ocupantes de edificações, como salas de controle, instaladas em refinarias de petróleo. Em uma refinaria de petróleo, os equipamentos são organizados em diversos processos industriais, operando em altas temperaturas e emitindo gases e vapores potencialmente inflamáveis e tóxicos. Diante disso, as construções instaladas, exigem que sejam protegidas através de ventilação e ar condicionado, com o intuito de eliminar a presença desses gases e vapores e que proporcionem ao mesmo tempo conforto térmico suficiente aos seus ocupantes.

Ao se avaliar a qualidade de um projeto, deve-se levar em consideração se o mesmo, atende às necessidades solicitadas, se ele foi executado sob responsabilidade de engenheiro ou técnico com registro no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CREA) com experiência no ramo, se os equipamentos especificados são de fabricação usual no país, se foram citadas e atendidas as normas técnicas pertinentes ao tipo de instalação projetada, se foi considerada a interface com outras instalações, tais como: pontos de forças (capacidade, tensão e frequência), pontos de água (vazões e/ou bitolas de tubulações), pontos de dreno (posição e demais características), peso dos equipamentos.

Quando edificações, como salas de controle são requeridas para serem construídas em refinarias de petróleo, o recomendável pelas boas práticas é que sempre que possível, estejam situadas fora de áreas industriais. No entanto, muitas das vezes essa prática não é possível por questões técnicas e econômicas, como por exemplo a indisponibilidade de espaço ou a distância entre a área industrial. No caso em que a construção da sala de controle é realizada dentro de uma área industrial de uma refinaria, alguns cuidados tornam-se necessários de forma a manter o ambiente devidamente seguro, mesmo com a existência de atmosferas explosivas a seu redor. Para minimizar esse risco, é instalado sistemas de ventilação e ar condicionado, que proporciona uma pressão interna do ar no ambiente, impedindo que vapores e gases tóxicos e inflamáveis existente no lado externo, ingresse para o interior do ambiente.

Para que a instalação de um sistema ventilação e ar condicionado instalado no interior de uma sala de controle seja bem-sucedido, é fundamental o cumprimento de uma série de etapas de projeto visando atingir o objetivo final. Para que isso ocorra, cada etapa deve estar bem definida, com todas informações necessárias de modo a se obter uma evolução positiva e consistente da concepção adotada para as instalações, garantindo o atendimento às exigências de desempenho e qualidade.

A ideia principal deste trabalho é verificar se a implantação de um sistema de ventilação e ar condicionado, cumpriu todas as etapas de projeto, os requisitos mínimos e os parâmetros básicos estabelecidos em normas e legislações brasileiras vigentes, para que o mesmo apresente o rendimento esperado de conforto e segurança para os ocupantes da sala de controle e que o ar ambiente esteja enquadrado dentro de níveis aceitáveis de qualidade que não acarrete problemas à saúde humana.

Nesse contexto, para que o projeto de um sistema de ventilação e ar condicionado seja bem-sucedido, o conforto térmico deve ser obtido através do controle de forma simultânea das variáveis físicas, como temperatura, umidade e pressão do ar e o consumo elétrico do sistema deve apresentar eficiência energética de acordo com parâmetros do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel).

Devido à grande variedade de tecnologias disponíveis, das condições ambientais existentes, das capacidades dos equipamentos para os sistemas de ventilação e climatização, a pergunta que se faz é a seguinte: O sistema instalado está adequado às condições requeridas e atende ao que foi proposto?

Assim, o objetivo geral desse Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é realizar uma análise crítica da implementação do projeto de instalação de um sistema de ventilação e climatização, verificando o atendimento dos requisitos mínimos das normas e legislações brasileiras vigentes, garantindo o conforto térmico e segurança dos ocupantes da sala de controle.

Desse objetivo geral decorrem os objetivos específicos, quais sejam: a) avaliar se os parâmetros básicos e os requisitos mínimos do projeto do Sistema ventilação e climatização estabelecidos na NBR 16401 (2008) foram considerados na fase de implantação do sistema; b) comparar as informações nos documentos de projeto como memórias de cálculo, folhas de dados de equipamentos, listas de materiais com as especificações dos equipamentos instalados no Sistema ventilação

e climatização; c) verificar se os procedimentos de testes, ajustes e balanceamento dos equipamentos instalados foram realizados de acordo com as recomendações normatizadas, antes do início de operação do sistema e realizar uma análise crítica dos resultados e d) verificar se os documentos de projeto foram entregues conforme obra instalada, *asbuilt*, com as revisões em decorrência de modificações de projeto na fase de instalação e disponibilizados para o setor de manutenção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo apresentar uma fundamentação teórica sobre os conceitos de sistemas de ventilação e ar condicionado, descrever as etapas que devem ser seguidas na elaboração de um projeto, as etapas do dimensionamento das cargas térmicas do ambiente a ser climatizado, e elencar as diretrizes normativas vigentes para a elaboração dos documentos que compõem um projeto para instalação de um sistema de ventilação e ar condicionado.

Estes fundamentos serão utilizados para o estudo de caso apresentado.

2.1 PROJETOS DE SISTEMAS DE VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO

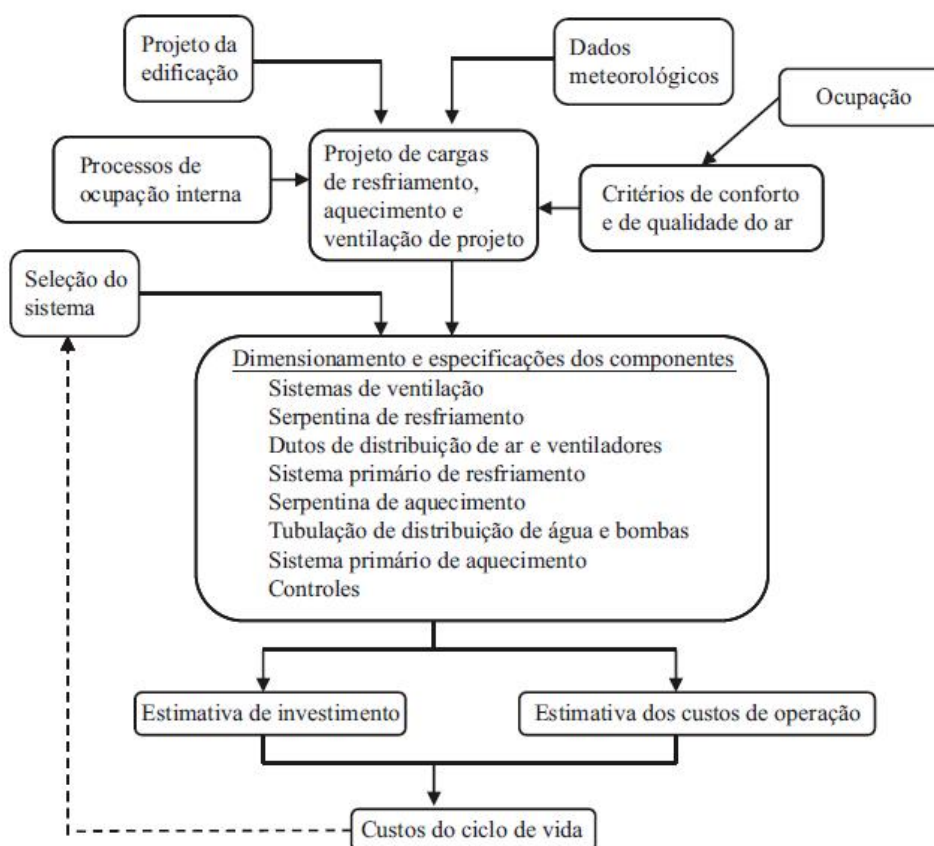
O projeto é uma das fases mais importantes de uma instalação de um sistema de ventilação e ar condicionado. Segundo a NBR 16401 (2008), a elaboração de um projeto de ventilação e climatização deve ocorrer em etapas sucessivas por uma equipe multidisciplinar, trabalhando de forma colaborativa para se alcançar o resultado esperado de forma a atender às exigências de desempenho e qualidade definidas pelo contratante. Para Silva (2019), durante a fase de projeto, além de um especialista na área de ar condicionado, a equipe de projetos também deve ser composta por profissionais das diversas áreas envolvidas. Portanto fica evidente que para atingir o êxito na elaboração de um projeto de um sistema de ventilação e ar condicionado, etapas devem ser seguidas e a equipe de projetistas deve ser composta por profissionais das áreas envolvidas, destacando-se o especialista em ar condicionado, que juntamente com o engenheiro realiza os levantamentos, os dimensionamentos, os cálculos e as especificações do sistema.

Os projetos de grandes obras, como supermercados, *shoppings centers*, hospitais, indústrias e edifícios são realizados por empresas especializadas, pois envolve um custo elevado, tanto de mão-de-obra especializada, como de ferramentas e softwares específicos de cálculos e modelagem matemática. Para estes grandes projetos, esta preferência se dá por essas empresas especializadas, em função de já possuírem um *know-how* e experiências consolidadas no mercado.

Para Mitchell e Braun (2018), o projeto de um sistema ventilação e ar condicionado deve considerar dois aspectos, o primeiro é o dimensionamento adequado de todos os equipamentos para atender o demandado em projeto e em

segundo é a especificação desses equipamentos levando em consideração o rendimento e os custos de operação desejados, dando ênfase ao conceito de eficiência energética. A Figura 1 apresenta a metodologia de projeto adotada por Mitchell e Braun (2018) através de um fluxograma para especificação de projeto, em que ele considera que as estimativas de cargas de aquecimento e resfriamento são calculadas tendo em mãos os projetos de arquitetura da edificação e os dados meteorológicos de projeto relativos à temperatura do ambiente externo, à umidade e à insolação. Com as cargas de projeto calculadas, a fase seguinte é projetar o sistema de ventilação e climatização dividindo a edificação em zonas, levando em consideração os serviços e as ocupações similares para melhor atendimento e rendimento do sistema. A carga de aquecimento vai determinar o dimensionamento dos componentes do sistema e juntamente com um sistema de controle, determina o modo de operação desejado. Após concluída a fase de projeto é realizada as análises de custos de investimento e operação, que combinados resulta no custo do ciclo de vida do sistema.

Figura 1 – Fluxograma para especificação de projeto



Fonte: Mitchell e Braun (2018)

Para Silva (2019) algumas etapas não podem ser negligenciadas conforme a seguir:

Estudo preliminar: Nesta fase o projetista em conjunto com o contratante analisa as normas e legislações vigentes para prever os impactos das implementações com relação ao consumo de energia da edificação e os impactos ambientais;

Bases de cálculo: Determinação dos parâmetros a ser atingidos após a implementação do projeto e que servirão de base para o dimensionamento dos equipamentos, tais como condições de temperatura, pressão, umidade, velocidade do ar, taxas de ocupação, iluminação e ar exterior;

Dimensionamento do sistema: Essa etapa refere-se à coleta de dados preliminares de requisitos de tratamento de ar, que servirão de base para a realização da estimativa das cargas térmicas dos ambientes, dimensionamento e seleção dos equipamentos a serem instalados, definição do local da casa de máquinas, projeto da rede de dutos, projeto da rede hidráulica, esquema elétrico e esquema de controles;

Memorial descritivo: O objetivo desta fase é determinar as condições técnicas de fornecimento e instalação a ser adotada no projeto, uma vez que nele é que são encontradas as informações técnicas gerais do sistema, tabelas, e resumos das memórias de cálculo. É nesta etapa que também é definido a forma de contratação dos serviços para implantação do projeto.

Parte gráfica: Esta etapa compreende o fornecimento dos documentos que compõem o projeto que chamaremos de *data book*, contendo todos os desenhos, as especificações técnicas, as folhas de dados dos equipamentos, as listas de materiais, memórias de cálculo e memoriais descritivos, além de toda a documentação técnica dos projetos da rede de dutos, casa de máquinas, bases de equipamentos, rede hidráulica, fluxogramas de controle e esquema geral de distribuição elétrica.

2.2 CONDIÇÕES DE PROJETO

Na realização de um projeto de um sistema ventilação e ar condicionado, a coleta de dados e as informações iniciais, devem ser levantadas de maneira muito precisa, pois é a partir desses dados que nortearão todo o desenvolvimento sequencial do projeto. Para dimensionar e especificar um sistema de ventilação e ar condicionado para um ambiente, as variáveis do processo devem estar bem definidas

e deve-se levantar todas as condições internas e externas que afetam diretamente a operação do sistema.

Os parâmetros ambientais do sistema de ventilação e ar condicionado, podem ser definidos com base nas normas e publicações de entidades internacionais e nacionais especializadas em condicionamento de ar:

- a) *American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE);
- b) Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);
- c) Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA).

De acordo com Mitchell e Braun (2018), os parâmetros físicos como temperatura, umidade, velocidade do ar e radiação solar é que definirão a operação e o desempenho dos equipamentos de um sistema de ventilação e ar condicionado em um ambiente. As diversas formas de transferência de calor entre as partes das edificações, afetam diretamente a temperatura interna do ambiente. As correntes de ar de ventilação e infiltração influenciam na umidade do ar no interior do ambiente. A radiação solar, também conhecida como insolação, que incide nas janelas, no teto e na envoltória da edificação, também deve ser considerada como um fator no dimensionamento do sistema, pois é uma das principais cargas térmicas a ser extraída pelo sistema de ar condicionado.

Portanto para que o sistema opere sob as condições exigidas, o projeto exige que se faça um dimensionamento preciso dos equipamentos, levando em consideração as condições meteorológicas do lugar onde se deseja instalar o sistema, pois são essas condições externas que afetam diretamente as variáveis que se deseja controlar em um sistema de ventilação e ar condicionado.

Para o projeto e dimensionamento do sistema, a NBR 16401 (2008) apresenta no Anexo A, uma série de tabelas com as condições climáticas e termoigrométricas para 34 cidades brasileiras separadas por região. A Figura 2, apresenta o formato da tabela usada pela ABNT com as informações de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e umidade absoluta com a porcentagem de frequência anual em que as temperaturas de projeto serão provavelmente ultrapassadas para uma dada região.

Figura 2 - Formato das tabelas de dados e legendas da norma NBR 16401 (2008)

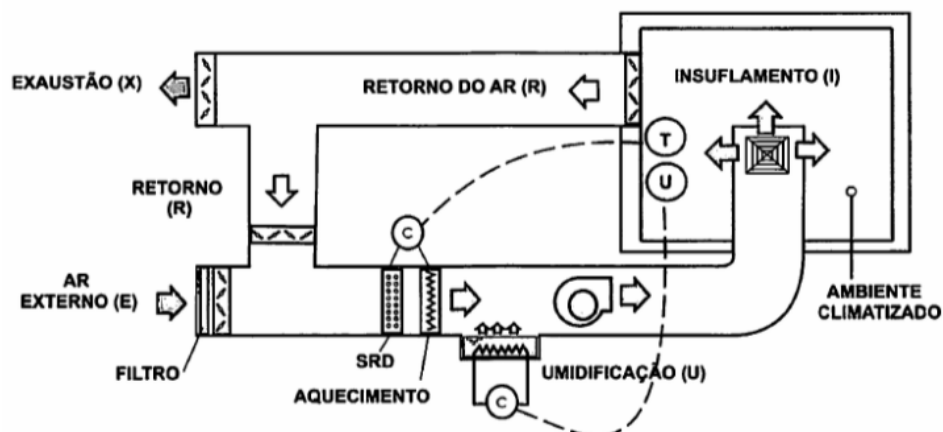
Estado	Cidade		Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s	
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr	Freq. anual	Aquec. Umidificação			
	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc			TBS	TPO	w	TBSc
ΔTmd	1%									99,6%				
	2%									99%				
Legenda														
Pr atm	Pressão atmosférica padrão no local (kPa)													
Período	Período das observações meteorológicas (ano inicial/ano final)													
Extrem. anuais	Média das temperaturas extremas anuais e desvio-padrão (s)													
Mês > Q	Mês no período com a maior média das temperaturas máximas													
ΔTmd	Variação média da temperatura diária no mês mais quente													
Mês > F	Mês no período com a menor média das temperaturas mínimas													
Frequência anual	Porcentagem do total das horas do ano em que as temperaturas de projeto indicadas serão provavelmente ultrapassadas													
TBS, TBU, TPO	Temperaturas (máx. ou mín.) de projeto, de bulbo seco, bulbo úmido e ponto de orvalho													
TBSc,TBUc	Temperaturas de projeto coincidentes, de bulbo seco, bulbo úmido													
w	Umidade absoluta (g/kg de ar seco)													

Fonte: ABNT (2008)

2.3 SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

Um ambiente fechado é considerado climatizado quando através de processos de tratamento do ar conseguimos controlar de forma simultânea a sua temperatura, umidade, pureza e movimentação do ar. Para que isso ocorra, o ar tem que ser submetido a processos de movimentação contínua, fazendo-o passar por elementos de filtragem, de resfriamento, aquecimento, umidificação e desumidificação. Existem sistemas de distribuição de ar climatizado para atender somente a um recinto, conforme mostra a Figura 3, chamado de zona única, assim como para atender a diversos recintos chamados de sistemas de zonas múltiplas (SILVA, 2019).

Figura 3 - Sistema de ar condicionado de zona simples

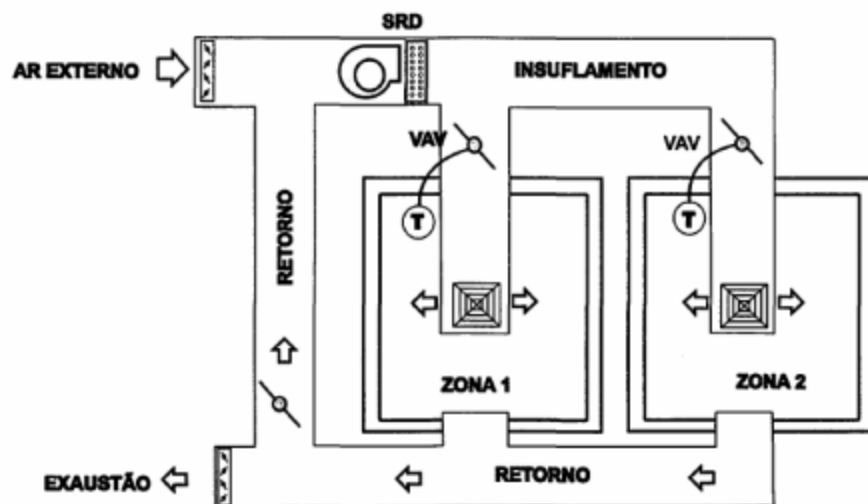


Fonte: Silva (2019)

É observado no sistema de zonas simples que o controle de renovação de ar é realizado através da tomada de ar externo e que um percentual de ar de retorno é misturado ao ar externo para em seguida ser submetido ao processo de condicionamento: resfriamento, desumidificação ou aquecimento através da serpentina de resfriamento e desumificação (SRD).

Em sistemas de zonas múltiplas pode-se também, através de controles automatizados, controlar a vazão de ar de cada ambiente climatizado, conforme mostrado na Figura 4. Portanto, para cada zona se tem condições diferentes de temperaturas, através de controles de registros individuais, mas considerando apenas um com uma SRD (SILVA, 2019).

Figura 4 - Sistemas de múltiplas zonas e vazão de ar variável



Fonte: Silva (2019)

Segundo Creder (2004), os sistemas de ar condicionado podem ser classificados principalmente quanto ao tipo de expansão e de condensação. Além disso, a classificação quanto ao tipo de expansão pode ser dividida em direta e indireta conforme a seguir:

Expansão direta: a serpentina do condicionador (evaporador ou condensador) recebe diretamente do ambiente condicionado ou pela rede de dutos a carga de ar frio ou quente. Dentro dessa classe, encontram-se os condicionadores de janela, os splits, os multisplits e as unidades compactas self-contained.

Expansão indireta: a serpentina do condicionador (evaporador) serve-se de um meio secundário para receber a carga fornecida pelo ar. Nessa classe, destacam-

se os chillers/fancoil à água gelada, que utilizam água como meio intermediário para a troca térmica entre o fluido frigorígeno (refrigerante) e o ar a ser tratado.

A classificação quanto ao tipo de condensação pode ser dividida em três tipos, de acordo com o meio de transmissão de calor:

- Condensação a ar, em circulação natural ou forçada através de ventilador;
- Condensação a água, com ou sem retorno, usando água corrente ou em circuito fechado, utilizando torre de resfriamento;
- Condensação evaporativa.

2.4 CONFORTO TÉRMICO

O objetivo do projeto de um sistema de ventilação e ar condicionado além de atender as legislações vigentes é tornar o ambiente de uma edificação confortável e saudável para seus ocupantes proporcionando satisfação, saúde e consequentemente aumento de produtividade.

Para Silva (2019) a sensação de conforto térmico depende da facilidade com que o indivíduo estabelece um balanço térmico com o meio, com o intuito e manter a temperatura interna corporal em 37°C. Mesmo que o equilíbrio térmico seja alcançado, uma pessoa pode não sentir confortável, por exemplo, se estiver na presença de um campo assimétrico de radiação.

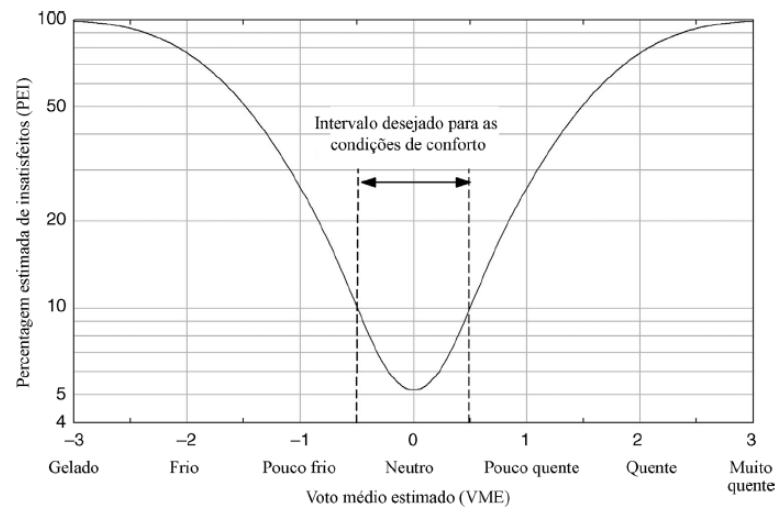
Segundo o guia técnico *Fundamentals Handbook*, da ASHRAE (2017), conforto térmico é uma sensação particular de cada indivíduo que ocupa o ambiente, pois depende de fatores biológicos, físicos e emocionais não sendo dessa forma possível satisfazer, com uma determinada condição térmica, todos as pessoas que ocupam o ambiente. Portanto, o conforto é uma variável subjetiva que depende da percepção humana, não sendo uma variável física que se consegue medir diretamente. Com o propósito de atender ao maior número de ocupantes de determinados ambientes, foram criadas normas que estabelecem parâmetros para projetos de sistema de ar condicionado.

Embora os seres humanos consigam sobreviver a uma faixa muito ampla de condições ambientais, as condições de conforto são muito restritas. Para isso o sistema de ventilação e ar condicionado tem a função de manter as condições do ambiente nessas faixas consideradas confortáveis, enquanto que o ambiente externo

varia constantemente. Essa condição de conforto está diretamente relacionada à parâmetros físicos, tais como temperatura, umidade e velocidade do ar.

Os parâmetros atuais das condições de conforto são resultados de estudos de anos com várias pessoas em ambientes controlados. Nesses estudos, era solicitado que cada pessoa classificasse determinado ambiente em quente ou frio, confortável ou desconfortável. O resultado dessas pesquisas concluiu que as faixa de valores de temperatura, umidade e velocidade do ar, consideradas confortáveis estavam diretamente relacionadas com o tipo de atividades das pessoas e os vestuários que elas usavam. Diante do estudo a ASHRAE criou uma escala de conforto térmico, que varia de frio a quente. No gráfico da Figura 5 mostra a relação em porcentagem estimada de insatisfeitos com o ambiente (PEI) e o voto médio estimado (VME), que são as respostas obtidas para um grupo de pessoas relativas à sensação térmica (MITCHELL e BRAUN, 2018).

Figura 5 – Voto médio estimado



Fonte: Mitchell e Braun (2018)

Segundo a NBR 16401 (2008) os fatores ambientais que afetam o conforto térmico são:

- A temperatura operativa;
- A velocidade do ar;
- A umidade relativa do ar.

Os valores desses parâmetros que definem condições de conforto térmico dependem dos seguintes fatores pessoais:

- O tipo de roupa usado pelas pessoas, que determina a resistência térmica média à troca de calor do corpo com o ambiente, expressa em “clo” (1 clo = 0,155 m² K/W);
- O nível de atividade física das pessoas, que determina sua taxa de metabolismo, geralmente expressa em “met” (1 met = 58,2 W/m²). Admitindo uma superfície média de 1,8 m² para o corpo de um adulto, 1 met é equivalente a aproximadamente 105 W.

Os parâmetros das Tabela 1 e 2 são válidos para grupos homogêneos de pessoas, usando roupa típica da estação e em atividade sedentária ou leve (1,0 met a 1,2 met).

Tabela 1 - Faixas de conforto para temperaturas operativas

Atividade	Umidade Relativa	Época e tipo de roupa	
		0,5 clo (Verão)	0,9 clo (Inverno)
1,0 ≤ met ≤ 1,2	65%	22,5 °C a 25,5 °C	-
	35%	23,0 °C a 26,0 °C	-
	60%	-	21,0 °C a 23,5 °C
	30%	-	21,5 °C a 24,0 °C

Fonte: Adaptado de ABNT (2008).

A velocidade média do ar (não direcional) na zona de ocupação não deve ultrapassar:

Tabela 2 - Velocidade média do ar

Atividade	Grau de turbulência	Época e tipo de roupa	
		0,5 clo (Verão)	0,9 clo (Inverno)
1,0 ≤ met ≤ 1,2	30% a 50%	0,20 m/s	0,15 m/s
	<10%	0,25 m/s	0,20 m/s

Fonte: Adaptado de ABNT (2008).

De acordo com a ASHRAE (2017) é listado uma série de fatores que causam desconforto em uma ou mais partes do corpo, que podem ser considerados durante a fase de projetos:

- a) **Radiação térmica assimétrica:** por causa de janelas frias, paredes não isoladas, produtos frios, máquinas quentes ou frias ou pelo teto;
- b) **Correntes de ar:** resfriamento indesejado do corpo humano causado pelo movimento do ar;
- c) **Diferença de temperatura vertical do ar:** quando as partes do corpo humano são expostas a diferentes temperaturas, como um aquecimento na região da cabeça e um resfriamento nos pés;
- d) **Pisos quentes ou frios:** o piso tem grande influência na irradiação de calor para o ambiente, e sua temperatura é muito influenciada por suas características construtivas, como estar diretamente no solo, acima de um porão, outro andar ou do sistema de ar condicionado – insuflamento pelo piso.

Tendo como base as normas brasileiras e internacionais, é importante empregar nos projetos de sistemas de ar condicionado, os parâmetros de conforto térmico, pois eles impactam diretamente na saúde das pessoas. Um ambiente confortável e salubre previne e evita a proliferação de doenças assim como contribui bastante para o rendimento e produtividade das pessoas.

2.5 ESTIMATIVA DE CARGA TÉRMICA

Para estimar a carga térmica de um ambiente, é necessário utilizar as informações coletadas das fontes internas e externas de calor combinadas com suas características térmicas e dos parâmetros climáticos. Segundo Silva (2019) carga térmica é a soma total de calor sensível e latente que deve ser retirada ou adicionada ao ambiente climatizado para que se mantenham as condições desejadas de temperatura e umidade relativa. Os ganhos de calor podem ser oriundos de fontes externas ao ambiente condicionado e de fontes internas do mesmo ambiente.

Podemos considerar como ganhos externos de calor no ambiente a ser condicionado: a radiação solar através das superfícies opacas (paredes); calor transmitido através do vidro das janelas e das paredes devido à transferência de

temperatura entre o ar externo e ar interno; infiltração de ar quente do exterior que pode ser de infiltração ou ar de renovação.

Como ganhos internos, pode citar: iluminação elétrica; calor liberado pelas pessoas que ocupam o ambiente; dissipação de calor dos equipamentos (computadores, painéis elétricos, eletrodomésticos).

Para fazermos uma avaliação precisa do dimensionamento dos equipamentos e do rendimento do sistema instalado, é importante conhecermos a estimativa e cálculo das cargas térmicas. Para isso, deveremos levar em consideração como são geradas as fontes internas de calor, combinadas com as condições climáticas da área onde o sistema foi instalado.

A NBR 16401 (2008) determina que as cargas térmicas devem ser expressas em watts (W) e as vazões de ar em litros por segundo (l/s) de ar padrão e corrigidas para a massa específica efetiva do ar em cada fase do processo. Esta mesma norma desaconselha que o cálculo seja realizado de forma manual e recomenda o uso de *softwares*, como os programas livres publicados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, ou programas desenvolvidos e registrados pelos principais fabricantes de equipamentos.

Para Silva (2019) os fatores que podem influenciar direta ou indiretamente na quantidade de calor que o ambiente pode ganhar ou perder, são chamados de “parcelas de cargas térmica”. Portanto para este trabalho, vamos considerar como importantes, o conhecimento das parcelas que de fato influenciarão na carga térmica do ambiente a ser analisado.

2.5.1 Ganhos de calor por insolação sobre superfícies opacas

Em superfícies opacas (paredes, telhados, tetos e lajes) o calor é transmitido para o interior do ambiente através do princípio de condução térmica. Os materiais com que são construídas as superfícies vai determinar o tempo em que o calor atingirá o interior do ambiente. Isto significa que o calor pode ser transmitido mesmo após o sol ter se posto. Esse intervalo de tempo que o calor leva para atingir o interior do ambiente é conhecido como retardo térmico. (SILVA, 2019)

Para Creder (2004) a radiação solar é a responsável pela maior parcela da carga térmica nos cálculos do ar condicionado. Por absorção, quanto menos polida for a superfície, maior será a quantidade de calor absorvida. A quantidade de radiação

solar que incide sobre uma superfície vai depender de alguns fatores a saber: coordenadas geográficas do local (latitude), Inclinação dos raios do Sol (depende da época do ano e da hora consideradas), tipo da construção, cor e rugosidade da superfície, refletância da superfície.

De acordo com Silva (2019) a parcela de ganho térmico, através de superfícies opacas, pode ser calculado considerando a diferença de temperatura entre o lado externo e interno, através da equação 1:

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot [(\alpha \cdot R_{ar} \cdot FGCI) + (T_e - T_i)] \quad (1)$$

Onde:

- $\dot{Q}$ = Ganho de calor por uma superfície opaca com insolação em W;
- U = Coeficiente global de transmissão de calor de superfícies em W/m².°C;
- A = Área da superfície opaca (parede ou telhado) com insolação em m²;
- α = Absorvidade da superfície externa;
- R_{ar} = Resistência à passagem de calor por convecção, na ordem de 0,04;
- T_e = Temperatura do ar externo em °C;
- T_i = Temperatura do ar interno em °C;

2.5.2 Ganhos de calor por paredes internas

De acordo com Silva (2019) no caso de paredes que não recebem radiação solar, paredes e vidros internos, teto e piso entre andares, a carga térmica por transmissão é calculado pela equação 2:

$$\dot{Q} = A \cdot U \cdot (T_e - T_i) \quad (2)$$

Onde:

- $\dot{Q}$ = Ganho devido à transmissão de calor através da superfície em W;
- A = Área superficial da troca de calor em m²;
- U = Coeficiente global de transmissão de calor de superfícies em W/m².°C;
- T_e = Temperatura do ar externo em °C;
- T_i = Temperatura do ar interno em °C;

Para fins de projeto, a carga térmica de pisos que se encontram em contato direto com o solo, porões não ventilados e paredes que estão em contato com ambientes vizinhos climatizados deve ser ignoradas (SILVA, 2019).

A Tabela 3 mostra as ordens de grandeza de alguns coeficientes globais de transferência de calor aproximados. Para outros materiais recomenda-se a utilização da norma brasileira NBR 15220 de 30 de maio de 2005, que apresenta uma série de considerações sobre a determinação dos coeficientes globais de transmissão de calor de composições típicas utilizadas nas construções brasileiras.

Tabela 3 - Coeficientes globais de transferência de calor aproximados

Material	Coeficiente global de transferência de calor U [W/(m².C)]
Parede de tijolo de 6 furos com reboco nas duas faces	2,50
Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 10 cm e espaço de ar não ventilado	1,95
Parede de tijolo 6 furos com duas camadas de reboco e isolamento de 15cm de EPS	0,23

Fonte: Silva (2019)

2.5.3 Ganhos de calor por insolação sobre superfícies transparentes

Conforme Creder (2004) a energia radiante proveniente do sol quando incide em uma superfície transparente, ela subdivide-se em três partes: uma parte é refletida, outra parte é absorvida, e a terceira é a parte que atravessa a superfície transparente.

Para os cálculos de carga térmica, é considerada a parcela que atravessa a superfície transparente, pois é esta parcela que atinge objetos dentro do recinto, tais como assoalhos, paredes e móveis. A energia solar aquece esses objetos, que liberam calor ao ambiente por convecção. (SILVA, 2019).

Quando não for possível alterar a posição das janelas, uma alternativa para reduzir a carga solar é recorrer à instalação de barreiras que impeçam ou minimizem a entrada de radiação do sol, tais como películas protetoras, persianas, cortinas, ou até mesmo utilizando vidros especiais ao invés de vidros comuns. Com o avanço da engenharia de materiais há vidros que são capazes de regular automaticamente a insolação que entra no ambiente.

Para Silva (2019) o cálculo da parcela térmica devido a insolação que entra por uma superfície transparente pode ser realizado pela equação 3:

$$\dot{Q}_{vidros} = A \cdot FGCI_{max} \cdot FCR \cdot CS \quad (3)$$

Onde:

- $\dot{Q}_{vidros}$ = Ganho de calor de um recinto provocado por superfície transparente em W;
- A = Área da superfície transparente em m²;
- $FGCI_{max}$ = Fator de ganho de calor por insolação máximo em W/m²;
- FCR = Fator de carga de resfriamento (retardo da insolação);
- CS = Coeficiente de sombreamento.

Segundo Silva (2019) para cálculos simples de carga térmica o coeficiente de sombreamento CS para lugares em que há cortinas é de 0,5. A Tabela 4 apresenta alguns coeficientes de sombreamento mais comuns.

Tabela 4 - Diferentes coeficientes de sombreamento para vidros

Tipo de vidro	Fator "Cs"
Comum de 4mm	1,00
Comum de 6mm	0,94
60% de reflexão	0,80
30% de reflexão	0,62
Duplo	0,90

Fonte: Silva (2019)

Para o cálculo da carga térmica incidente pelas superfícies transparentes é necessário também somar a carga térmica que entra por condução através do vidro (SILVA, 2019).

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot (T_e - T_i) + A \cdot FGCI_{max} \cdot FCR \cdot CS \quad (4)$$

Silva (2019) apresenta alguns valores de insolação adaptados do guia técnico da *ASHRAE Handbook of Fundamentals*, no entanto o mesmo autor recomenda que a consulta de dados solarimétricos sejam coletados considerando as diferentes regiões brasileiras. As Tabelas de 5 a 7 mostram alguns valores de fator de ganho de calor por insolação máximo ($FGCI_{max}$) para algumas latitudes brasileiras.

Tabela 5 - $FGCI_{max}$ (W/m²). Latitude -23,5° (sul)

Mês	Horizontal	S	SO/SE	O/L	NO/NE	N
Jan	993	157	635	764	471	165
Fev	955	132	534	762	580	265
Mar	863	113	392	720	668	434
Abr	726	92	234	636	712	571
Mai	610	78	126	555	713	637
Jun	558	72	87	515	705	655
Jul	597	75	119	549	708	634
Ago	710	86	233	633	703	558
Set	844	104	392	714	655	416
Out	938	122	532	757	570	251
Nov	984	149	630	761	471	160
Dez	997	199	665	756	425	154

Fonte: Silva (2019)

Tabela 6 - $FGCI_{max}$ (W/m²). Latitude -32,0° (sul)

Mês/orientação	Horizontal	S/sombra	SE/SO	L/O	NE/NO	N
Junho	500	69	69	510	775	795
Julho e maio	555	75	90	550	785	775
Agosto e abril	685	85	205	645	780	700
Setembro e março	780	100	330	695	700	545
Outubro e fevereiro	845	115	450	700	580	355
Novembro e janeiro	865	120	530	685	480	230
Dezembro	870	140	555	675	440	190

Fonte: Silva (2019)

Tabela 7 - $FGCI_{max}$ (W/m²). Latitude -28,0° (sul)

Mês/orientação	Horizontal	S/sombra	SE/SO	L/O	NE/NO	N
Dezembro	876	161	561	671	403	154
Janeiro	870	129	536	677	441	180
Fevereiro	857	120	470	693	542	287

Fonte: Silva (2019)

2.5.4 Ganhos de calor pelo ar externo

A movimentação de quantidades relativamente grandes de ar, através de mecanismos de ventilação natural ou forçada, proporcionará uma movimentação do ar através de espaços confinados, com a finalidade de melhorar as condições do ambiente graças ao controle da temperatura, da distribuição e da pureza do ar e, em certos casos, também da umidade. Essa movimentação do ar exterior para dentro de ambiente condicionados, provocará uma transferência de calor do ar externo para o ar interno. Esse ganho calor, pode acontecer duas maneiras conforme (MACINTYRE, 1990).

1. **Ar de infiltração:** é a vazão de ar externo que se infiltra no ambiente climatizado por fendas e frestas ou por aberturas de portas externas durante o uso normal de entrada e saída. O ar que vaza por saídas similares é chamado de ar de extração.
2. **Ar de ventilação:** é a vazão de ar externo com entrada natural ou forçada, usado para prover uma aceitável qualidade de ar interior através do processo de renovação do ar.

Primeiramente trataremos do ganho de calor por infiltração do ar externo. Para Creder (2004) o movimento do ar exterior ao recinto possibilita a sua penetração através das frestas nas portas, janelas ou outras aberturas. Tal penetração adiciona carga térmica sensível ou latente. Embora essa carga não possa ser calculada com precisão, há dois métodos que permitem a sua estimativa: o método da troca de ar e o método das frestas.

No método denominado de troca de ar, Creder (2004) define que é o processo de renovação do volume de ar contido no ambiente no intervalo de uma hora. Nesse processo de renovação, pelas portas e janelas do ambiente, há um ganho de calor do ar exterior para o ar interior. Com base na Tabela 8, para um ambiente, por exemplo, com três janelas em contato com o ar exterior, no intervalo de uma hora é realizado duas renovações do volume de ar contido nesse ambiente. Conhecendo os dados de fluxo de ar em m³/h e as temperaturas, externa e interna do ambiente, calcula-se o ganho de calor sensível devido à infiltração, através da equação 5:

$$Q_s = \dot{Q}_r \cdot 0,29 \cdot (T_e - T_i) \quad (5)$$

Onde:

- Q_s = Calor sensível em W;
- $\dot{Q}_r$ = Fluxo de ar em m³/h;
- T_e = Temperatura do ar exterior em °C;
- T_i = Temperatura do ar interior em °C.

Tabela 8 - Troca de ar por hora nos recintos

<i>Janelas existentes</i>	<i>Trocas por hora</i>
Nenhuma janela ou porta para o exterior	0,75
Janelas ou portas em 1 parede	1
Janelas ou portas em 2 paredes	1,5
Janelas ou portas em 3 paredes	2
Lojas	2

Fonte: Adaptado de Creder (2004)

Creder (2004) afirma que quando a pressão do ar no interior do recinto é maior que a pressão de fora, não há infiltração e o método da fresta pode ser desconsiderado.

Caso haja infiltração através de frestas de portas e janelas, essa penetração de acordo com Silva (2019) depende da área, velocidade do ar e da frequência com que são abertas. Qualquer que seja o caminho pelo qual o ar penetre, ele deve ser obrigatoriamente filtrado, resfriado e desumidificado. A Portaria 3.523, de 28 de agosto de 1998, do Ministério da Saúde, estabelece uma taxa de 27m³/h, por pessoa, para

renovação do ar. Esse valor cai para 17m³/h, por pessoa, de acordo com a Resolução da ANVISA Nº 09 de 16 de janeiro de 2003, no caso de uma loja, por exemplo, onde há grande rotatividade.

O ar externo que penetra no ambiente provoca uma transferência de calor com o ar interior. Quando essa troca de calor provoca variação da temperatura, portanto calor sensível, calculamos essa parcela térmica através da equação 6. Quando essa transferência de calor leva em consideração a variação da umidade absoluta do ar externo em comparação ao ar interno estamos tratando de calor latente, sendo calculado através da equação 6 (CREDER, 2004).

$$Q_l = h_l \cdot (w_e - w_i) \cdot \rho_{ar} \cdot \dot{Q}_r \quad (6)$$

Onde:

- Q_l = Calor latente em W;
- h_l = Entalpia de vaporização da água em kcal/kg;
- w_e = Umidade absoluta externa em kg de vapor/kg de ar seco;
- w_i = Umidade absoluta interna em kg de vapor/kg de ar seco;
- ρ_{ar} = Peso específico do ar kg/m³.

Soma-se a vazão de ar pelas chamadas “fugas de ar climatizado” por frestas, portas e vãos sempre abertos. O ar pode entrar ou sair pelas aberturas dependendo da relação entre as pressões interna e externa do sistema de ar condicionado. Muitos sistemas trabalham com pressões positivas, portanto, o ar costuma “fugir” do ambiente climatizado na maior parte do tempo.

Determina-se a vazão de infiltração em cada abertura por meio de tabelas, geralmente multiplicando-se o comprimento das frestas por uma vazão por metro linear ou o número de portas por uma vazão unitária, conforme seu tamanho.

Estudos de laboratório consignados nas Tabela de 9 e 10, multiplicados pelo comprimento linear da fresta, dão a quantidade de calor que penetra no recinto (CREDER, 2004).

Tabela 9 - Infiltração de ar exterior pelas frestas

<i>Tipo de abertura</i>	<i>Observação</i>	<i>m³/h por metro de Fresta</i>
Janela		
- comum		3,0
- basculante		3,0
- guilhotina c/ caixilho de madeira	Mal ajustada	6,5
	Bem ajustada	2,0
- guilhotina c/ caixilho de madeira	Sem vedação	4,5
	Com vedação	1,8
Porta	Mal ajustada	13,0
	Bem ajustada	6,5

Fonte: Adaptado de Creder (2004)

Tabela 10 - Infiltração de ar exterior pelas portas

<i>Local</i>	<i>m³/h por Pessoa Presente no Recinto Condicionado</i>	
	<i>Porta Giratória (1,80m)</i>	<i>Porta de Vaivém (0,90m)</i>
Banco	11	14
Barbearia	7	9
Drogarias e Farmácias	10	12
Escritórios de corretagem	9	9
Escritórios privados	-	4
Escritórios em geral	-	7
Loja de cigarros	32	51
Lojas em geral	12	14
Quartos de hospitais	-	7
Restaurantes	3	4
Sala de chá ou café	7	9

Ar pelas Portas AbertasPorta de 0,90 m – 1.350 m³/hPorta de 1,80 m – 2.000 m³/h

Para contrabalancear a infiltração com a tomada de ar nos condicionadores:

Porta de 0,90 m – 1.750 m³/hPorta de 1,80 m – 2.450 m³/h

Fonte: Adaptado de Creder (2004)

O ar de ventilação que é impulsionado mecanicamente para o interior do ambiente condicionado, de acordo com Creder (2004) retorna ao equipamento de ar condicionado, impulsionado pelo ventilador que deve ser dimensionado de modo a vencer todas as perdas de cargas estáticas e dinâmicas que são oferecidas em todo o circuito do ar. Parte desse ar é perdida pelas frestas, aberturas, exaustores etc., precisando ser recomposta pelo ar exterior. Este ar exterior introduz calor sensível e latente ao ser misturado com o ar de retorno antes de passar pelo evaporador.

A NBR 16401 (2008) estipula a vazão mínima de ar exterior de qualidade aceitável a ser suprida pelo sistema para promover a renovação do ar interior e manter a concentração dos poluentes no ar em nível aceitável.

Para sistemas especiais ou ligados a processos industriais, a vazão mínima de ar exterior deve ser determinada de forma a garantir gradientes de pressão (positivos e/ou negativos) entre os ambientes condicionados e em relação à atmosfera, parâmetros de processo, condições mínimas de segurança e saúde ocupacional durante a permanência de pessoas dentro dos ambientes condicionados, tais como: concentração de gases e vapores nocivos à saúde, limites de explosão de gases e vapores de combustíveis, concentração de oxigênio e outros fatores de risco. (ABNT, 2008, p.13)

As vazões estipuladas pela NBR 16401 (2008) independem da capacidade ou do tipo de instalação. Com as taxas de vazão de ar exterior tabeladas calcula-se a carga térmica do ar exterior por ventilação através da equação 5 e 6.

2.5.5 Ganhos de calor por ocupação de pessoas

Uma das maiores fontes internas de calor segundo Silva (2019) é proveniente da ocupação de pessoas no ambiente. Para ambiente com altas taxas de ocupação, o ganho térmico é significativo quando comparada com outras parcelas.

Todo ser humano emite calor que pode variar de conforme o indivíduo esteja em repouso ou em atividade:

Se submetido à atividade física violenta, o corpo humano pode emitir até cinco vezes mais calor do que em repouso. Considerando-se que a temperatura média normal de uma pessoa é de 37°C (98,6°F), verifica-se experimentalmente que quanto maior é a temperatura externa, maior é a quantidade de calor latente emitida, e quanto menor esta temperatura, maior é o calor sensível. (CREDER, 2004, p. 99)

Pode-se dizer que o organismo do ser humano é mantido a uma temperatura interna sensivelmente constante. Nesse sentido para Frota e Schiffer (2001) isso acontece devido à um mecanismo de termorregulação do corpo. Portanto constatamos que quando a temperatura externa está maior que a temperatura do corpo, o equilíbrio térmico se dá pela transpiração e em consequência a eliminação de vapor d'água pela respiração e quando acontece o inverso, a temperatura externa está menor que a do corpo, este cede calor para o ambiente, no entanto somente na forma de calor sensível.

A NBR 16401 (2008) determina que o número máximo de pessoas para o ambiente deve ser definido pelo contratante do projeto. Para sistemas de conforto, em que essa informação não é definida deve-se utilizar uma lista detalhada com as taxas de calor liberadas de acordo com a atividade e o ambiente (Tabela 11).

Tabela 11 - Taxas típicas de calor liberado por pessoas

Nível de atividade	Local	Calor total (W)		Calor Sensível (W)	Calor latente (W)	% Radiante do calor sensível	
		Homem adulto	Ajustado M/F*			Baixa velocidade do ar	Alta velocidade do ar
Sentado no teatro	Teatro matinê	115	95	65	30		
Sentado no teatro, noite	Teatro noite	115	105	70	35	60	27
Sentado, trabalho leve	Escritórios, hotéis, apartamentos	130	115	70	45		
Atividade moderada em trabalhos de escritório	Escritórios, hotéis, apartamentos	140	130	75	55		
Parado em pé, trabalho moderado; caminhando	Loja de varejo ou de departamentos	160	130	75	55	58	38
Caminhando, parado em pé	Farmácia, agência bancária	160	145	75	70		
Trabalho sedentário	Restaurante ^b	145	160	80	80		
Trabalho leve em bancada	Fábrica	235	220	80	140		
Dançando moderadamente	Salão de baile	265	250	90	160	49	35
Caminhando 4,8 km/h; trabalho leve em máquina operatriz	Fábrica	295	295	110	185		
Jogando boliche ^c	Boliche	440	425	170	255		
Trabalho pesado	Fábrica	440	425	170	255	54	19
Trabalho pesado em máquina operatriz; carregando carga	Fábrica	470	470	185	285		
Praticando esportes	Ginásio, academia	585	525	210	315		

NOTA 1 Valores baseados em temperatura de bulbo seco ambiente de 24 °C. Para uma temperatura de bulbo seco ambiente de 27 °C, o calor total permanece o mesmo, porém o calor sensível deve ser reduzido em aproximadamente 20 %, e o calor latente aumentado correspondentemente. Para uma temperatura de bulbo seco ambiente de 21 °C, também o calor total permanece o mesmo, porém o calor sensível deve ser aumentado em aproximadamente 20 %, e o calor latente reduzido correspondentemente.

NOTA 2 Valores arredondados em 5 W.

* O valor do calor ajustado é baseado numa porcentagem normal de homens, mulheres e crianças para cada uma das aplicações listadas, postulando-se que o calor liberado por uma mulher adulta é aproximadamente 85 % daquele liberado por um homem adulto, e o calor liberado por uma criança é aproximadamente 75 % daquele liberado por um homem adulto.

^b O ganho de calor ajustado inclui 18 W para um prato de comida individual (9 W de calor sensível e 9 W latente).

^c Considerando uma pessoa por cancha realmente jogando boliche, e todas as demais sentadas (117 W), paradas em pé ou caminhando lentamente (231 W).

Para escritórios, por exemplo, podemos estimar que uma pessoa ocupa um espaço de 6m². Para um teatro, esse valor é da ordem de 0,75m² por pessoa. Se um teatro tem 300m² de área destinada ao público, sua ocupação será de 225 pessoas. Na Tabela 12 há algumas aplicações comuns (SILVA, 2019).

Tabela 12 - Valores de referência para ocupação de alguns recintos

<i>Local</i>	<i>Taxa de ocupação m²/pessoa</i>
Bancos - recintos públicos	4,00
Lojas com pouco movimento	5,00
Lojas com muito movimento (térreo)	2,50
Escritórios em geral	6,00
Restaurantes	1,40
Museus e bibliotecas	5,50
Teatros, cinemas	0,75

Fonte: Silva (2019)

2.5.6 Ganhos de calor por iluminação e equipamentos no ambiente

Segundo Frota Schiffer (2001) a energia elétrica quando se transforma em energia luminosa gera calor. Esse calor é dissipado para o ambiente em forma calor sensível por radiação e convecção para o ar. As lâmpadas incandescentes transformam apenas 10% de sua potência elétrica em luz, sendo o restante dissipado forma de calor. Para as lâmpadas fluorescentes, o valor aumenta para 25% o valor da potência elétrica convertida. Esse calor dissipado para o ambiente pode ser calculado através da equação 7 (ASHRAE, 2017):

$$\dot{Q}_{ilum} = W \cdot F_{uso} \cdot F_{se} \quad (7)$$

Onde:

- $\dot{Q}_{ilum}$ = Ganho de calor em W;
- W = Potência total em iluminação em W;
- F_{uso} = Fator de uso da iluminação;
- F_{se} = Fator de subsídio especial.

O fator de uso da iluminação usado no cálculo da carga térmica, é a razão entre a potência de iluminação em uso no momento de pico instantâneo de carga térmica e o fator de subsídio especial é aplicado para luminárias de lâmpadas fluorescentes e luminárias ventiladas ou instaladas de forma que apenas uma parte do seu calor vá para o espaço condicionado (ASHRAE, 2017).

O calor liberado para o ambiente proveniente de equipamentos elétricos, equipamentos de escritório em geral, painéis e motores elétricos, podem ser adquiridos através das placas de identificação dos equipamentos ou na ausência destas, consultar tabelas que apresentam valores de dissipação média de calor dos equipamentos mais comuns. O anexo C da NBR 16401 (2008) traz uma série de tabelas com os valores das taxas típicas de dissipação de calor em W/m^2 para equipamentos em geral.

Para Creder (2004) os motores elétricos, estejam eles dentro do recinto, ou até mesmo os motores dos ventiladores, adicionam carga térmica ao sistema em função das perdas nos enrolamentos, e essa carga precisa ser retirada pelo equipamento frigorígeno. É preciso levar em conta se o motor está sempre em funcionamento ou se a sua utilização é apenas esporádica.

De acordo com Silva (2019) as potências nominais indicadas nos motores elétricos não correspondem a carga real, pois eles podem operar com carga parcial ou sobrecarga, isto é, o seu rendimento pode variar com a potência. Portanto a parcela de carga térmica devido a motores elétricos é função de suas potências.

2.5.7 Determinação da Carga Térmica Total

Após determinar os ganhos de calor por fontes internas e externas, basta somar todas as parcelas (sensíveis e latentes) para determinar a carga térmica total, necessária para definir a capacidade dos equipamentos do sistema de ar condicionado (SILVA, 2019).

A NBR 16401 (2008) recomenda que para o cálculo da carga térmica de grandes instalações, seja utilizado softwares específicos, disponíveis inclusive, de forma gratuita na internet. O método simplificado é aplicado para instalações de pequeno porte, que pode ser adaptado para o Excel, levando em consideração os parâmetros normativos vigentes.

Após a realização do cálculo da carga térmica, o projetista deve realizar uma análise crítica dos resultados, os refinamentos necessários, para então começar a fazer o dimensionamento do projeto de dutos e a seleção dos equipamentos do sistema de ar condicionado.

2.5.8 Determinação do ar de insuflamento

Conhecida a carga térmica de calor sensível a ser retirada do recinto e as condições do ar interior e de insuflamento, podemos conhecer a quantidade total de ar, através da equação 8 (CREDER, 2004):

$$\dot{Q} = \frac{q_s}{0,29x(t_i - t_e)} \quad (8)$$

Onde:

- $\dot{Q}$ = Vazão de ar em m³/h;
- q_s = Carga térmica de calor sensível em W;
- t_i e t_e = Temperaturas em °C.

2.6 SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E DETALHAMENTO DO PROJETO

Segundo a NBR 16401 (2008) o projetista deve evitar superdimensionamentos do sistema. Os cálculos das cargas térmica devem ser os mais exatos possíveis, evitando aplicar “fatores de segurança” arbitrários para compensar eventuais incertezas no cálculo.

A carga térmica total é o principal parâmetro a ser considerado na seleção dos equipamentos de ar condicionado, porém não é o único. Além da carga térmica total o projetista deve considerar a carga térmica sensível e a vazão de insuflamento. Com esses parâmetros determinados o projetista deve iniciar a seleção de todos os equipamentos, detalhando a capacidade, consumo energético, peso, tamanho e todas as informações necessárias. Como ferramenta de auxílio, o projetista pode utilizar catálogos de equipamentos, manuais técnicos, sites de fabricantes e projetos de sistemas semelhantes já instalados.

A confiabilidade exigida pelo sistema deve ser avaliada e medidas devem ser estipuladas para garantir que os equipamentos operem com qualidade e confiabilidade dos componentes individuais e que sejam previstas redundâncias de partes do sistema e instalação de componentes reservas.

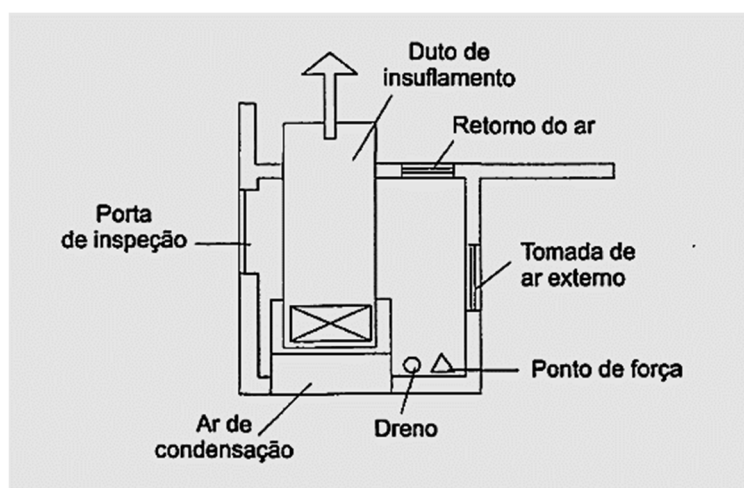
A seleção dos equipamentos deve considerar a adoção de dispositivos que favoreçam a conservação de energia, que atendam os níveis de ruídos aceitáveis conforme legislações e normas vigentes, que sejam dotados de sistemas de controle de vibrações e medidas de segurança contra incêndios.

Conforme Silva (2019) na fase de detalhamento de projeto deve ser definido a posição e dimensões da casa de máquinas, a determinação do modelo da tomada de ar externo (TAE) e as especificações de componentes do sistema como grelhas de insuflamento e grelhas e retorno, difusores, filtros e demais equipamentos que compõem o sistema de ventilação e ar condicionado.

2.6.1 Casa de máquinas

Para Silva (2019) as casas de máquinas, para sistemas que exigem caixa de mistura, devem ter dimensões apropriadas para acomodação do equipamento e permitir sua instalação e manutenção adequada (Figura 6). É necessário também prever a posição da tomada de ar externo, da grelha de retorno e a forma de liberação de calor do condensador. Não se deve esquecer que este ambiente deve ser provido de saídas para drenagem da água proveniente da bandeja de condensado e de ponto de energia elétrica.

Figura 6 - Esquema de uma casa de máquina



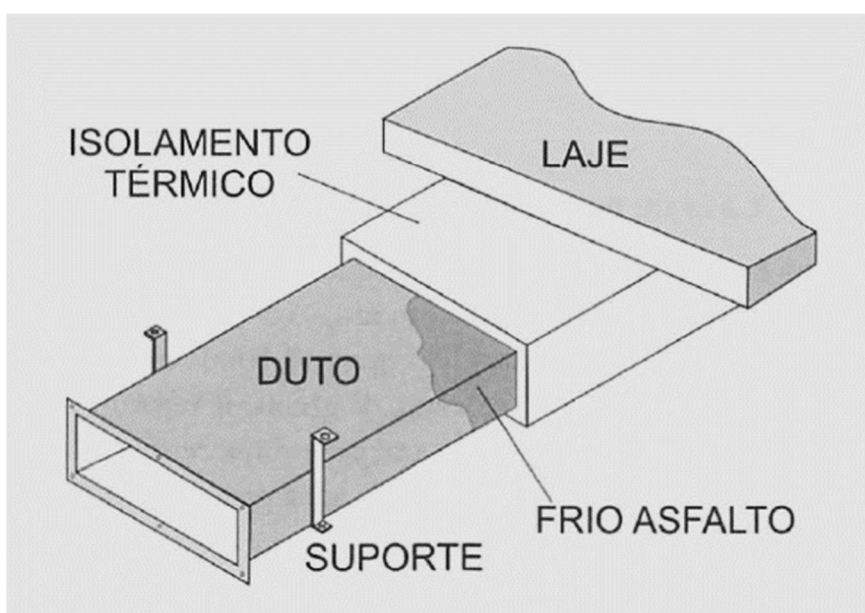
Fonte: Silva (2019)

2.6.2 Isolamento da rede dutos

Para melhor eficiência do sistema, os dutos de insuflamento de ar devem ser isolados, pois a diferença de temperatura entre o ar interior do duto e o ar exterior provoca aumento da carga térmica, além da migração da umidade. De acordo com a NBR 16401 (2008) fica sob responsabilidade do projetista a especificação do material, a espessura e a condutividade térmica do isolante térmico. No entanto, o isolamento deve apresentar características específicas mínimas que garantam o desempenho e a integridade de todo sistema. Os trechos a serem isolados devem vir especificados em projeto.

Para Silva (2019) os dutos de insuflamento devem ser isolados termicamente sempre que houver o risco de condensação da umidade do ar em sua face externa e os mesmos passam dentro de forros não condicionados. A Figura 7 ilustra o esquema de suporte e isolamento de um duto de aço galvanizado.

Figura 7- Esquema de um isolamento de duto de ar



Fonte: Silva (2019)

2.6.3 Filtros

De acordo com a NBR 16401 (2008) o sistema de ar condicionado deve filtrar continuamente o material particulado trazido pelo ar exterior e os gerados internamente e transportados pelo ar recirculado, a fim de reduzir a acumulação de

poluentes nos equipamentos e dutos do sistema e contribuir para reduzir sua concentração de poluentes no recinto a níveis aceitáveis.

Portanto, o projetista deve avaliar as condições de captação do ar exterior para definir qual a posição mais adequada para instalação da tomada de ar e quais tipos de filtros utilizar. Os tipos de filtros mais indicados para sistemas de ar condicionado dependem do tipo de aplicação. A NBR 16401 (2008) no seu capítulo 8 define todos os parâmetros e níveis de filtragem para sistemas de ar condicionado. Na Tabela 13 mostra um resumo dos tipos de filtros.

Tabela 13 – Resumo dos tipos de filtros

Classe de Filtro	Eficiência (%)	
Grossos	G0	30-59
	G1	60-74
	G2	75-84
	G3	85 e acima
Finos	F1	40-69
	F2	70-89
	F3	90 e acima
Absolutos	A1	85-94
	A2	95-96
	A3	97 e acima

Fonte: Silva (2019)

2.6.4 Tomada de ar externo

O sistema de ar condicionado controla a qualidade do ar interior por meio de renovação por ar exterior e pela filtragem de todo o ar insuflado. A renovação reduz a concentração no ambiente de poluentes gasosos, biológicos e químicos, que não são retidos nos filtros. A filtragem do ar tem como função reduzir a concentração no ambiente dos poluentes trazidos do ar exterior e os gerados internamente, os quais são transportados pelo ar recirculado, evitando sua acumulação no sistema (ABNT, 2008).

O ideal é que a tomada de ar externo (TAE) seja instalada na parede da casa de máquinas, para controlar a entrada e filtragem de ar externo de renovação. Para seleção da TAE, geralmente adota-se uma velocidade livre de face de 2,0m/s. Conhecendo-se a vazão de ar necessária para renovação é possível obter a área efetiva da TAE. A escolha do tipo de TAE dependerá do grau de controle exigido pela instalação. (SILVA, 2019).

Portanto verificamos a importância do dimensionamento correto da TAE para ser obter uma vazão de ar externo adequada aos parâmetros exigidos e requeridos em projeto para atender as legislações vigentes com relação à qualidade do ar interno do ambiente. Na tabela 14 segue alguns tamanhos comerciais de TAE.

Tabela 14 - Exemplo de tamanhos comerciais de tomadas de ar externo

Dimensões nominais (mm x mm)	Área efetiva (m²)	Vazão de ar (m³/h)
400 x 300	0,049	350
600 x 300	0,074	531
600 x 400	0,106	764
1000 x 300	0,124	892

Fonte: Silva (2019)

2.6.5 Definição do tipo de automação do sistema

De forma simplificada a função de um sistema automático é manter uma condição variável em um ponto desejado dentro do controle. Mas, antes de qualquer automação, temos que ter um sistema no qual exista uma variável a ser controlada. O controle dessa variável é, normalmente, efetuado por um sistema automático que manipula uma segunda variável. Essa é denominada variável manipulada e causa uma mudança necessária na variável controlada (SILVA, 2019).

Atualmente é possível encontrar sistemas que são capazes de consumir menos energia e controlar com precisão a temperatura do ambiente. Um exemplo das facilidades alcançadas com o uso dos controles e da automação é o sistema de volume de ar variável (VAV). Esse regula a vazão de ar correspondente à carga térmica em cada zona de ocupação, dependendo da insolação e das fontes internas

de calor. É o caso dos escritórios com áreas em fachadas diferentes, sujeitas, portanto, a regimes de insolação diversos: as salas expostas ao poente, por exemplo, sofrem acréscimo de carga nas tardes e redução nas manhãs, sendo o oposto para as salas expostas à nascente. O sistema VAV também é usado para prover o controle individual da temperatura em cada sala, de acordo com as preferências de seu usuário. Tudo isso necessita de um centro de processamento de informações, lugar ocupado pelos Controladores Lógico Programáveis (CLP ou PCL) ou por sensores com circuitos microprocessadores capazes de programação (SILVA, 2019).

Verifica-se, portanto, que existe no mercado uma variedade de configurações de automação para sistemas de ar condicionado. O projetista na fase de concepção do projeto tem que definir com o cliente o tipo de configuração que deverá estar associada ao sistema, pois dependendo do tipo de automação o impacto no custo final de instalação pode ser relevante. O projetista deve levar em consideração quais as necessidades do cliente, o que o cliente precisa em termos de facilidades, quais as variáveis o processo de ar condicionado precisar controlar, se o sistema deverá ser operado remotamente, enfim, o cliente deve ter ciência que todas essas “facilidades” impactam diretamente no custo e se o mesmo estar disposto a pagar por isso.

2.7 PROJETO DA REDE DE DUTOS

O sistema de dutos leva o ar dos equipamentos até o ambiente a ser climatizado. O ar é distribuído no ambiente por meio de difusores e recolhido por grelhas de retorno. O dimensionamento de uma rede de dutos depende principalmente da definição do seu traçado. A distribuição eficiente dos ramais e bocais de insuflamento impacta positivamente no custo de material e na eficiência do sistema. Para Silva (2019) não existem regras pré-definidas para esse traçado, mas recomenda que:

[...] através do método da inspeção, sejam procurados sistemas que ofereçam menor consumo de chapas, de mão de obra, velocidades que não ofereçam problemas de ruídos, distribuição racional do ar pelo ambiente, derivações com pequenas perdas de carga, dutos que se adaptem melhor esteticamente ao ambiente e que levem em consideração a presença de vigas, pilares e luminárias, não causando, dessa forma, interferência construtiva na obra. Para um mesmo ambiente são possíveis várias soluções para o traçado da rede de dutos (SILVA, 2019, p. 211).

A NBR 16401 (2008) determina que o traçado deve ser o mais curto e direto possível, considerando as interferências com a estrutura e as demais instalações e serviços do edifício. Que o duto principal de insuflamento seja ramificado de forma a facilitar o ajuste das vazões e/ou permitir a instalação de dispositivos de controle automático.

Diante do exposto acima com relação ao projeto da rede de dutos, o importante é o cuidado com as mudanças de direção dos ramais principal e secundários, pois devem ser suaves e, muitas vezes, conduzidas por veios direcionais. Quanto maior o raio da curva, menor a perda de carga.

O projeto da rede de dutos começa com a determinação da vazão de ar de insuflamento na fase de cálculo estimativo da carga térmica e a correta distribuição do ar no ambiente ser climatizado. A determinação dos pontos de insuflamento deve ser realizada com o objetivo de garantir uma distribuição uniforme de ar no ambiente por meio de difusores quadrados, retangulares ou circulares. A escolha do difusor mais apropriado deve considerar o alcance do jato de ar, a perda de carga admissível e a velocidade terminal do ar desejada. (SILVA, 2019).

De acordo com a NBR 16401 (2008) os tipos e a localização dos difusores e grelhas de insuflamento devem satisfazer as condições de limites da velocidade média na zona ocupada e devem possuir dispositivos de regulação de vazão. Com relação à seleção desses componentes, a norma especifica que seja realizada de acordo com manuais e instruções do fabricante, mas que atendam aos requisitos estipulados em projeto com relação à vazão.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo abordaremos as estratégias usadas para análise da pesquisa, a descrição do local a ser estudado, as fontes de dados usadas, os instrumentos usados para coleta de dados, afim de se verificar que o problema formulado seja passível de verificação através dos objetivos propostos.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DA PESQUISA

O local escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa foi uma Sala Integrada de Controle de uma unidade de processamento de petróleo, situado em uma área classificada de uma refinaria de petróleo. Uma refinaria de petróleo, é a uma espécie de indústria de processo em que materiais fluidos sofrem transformações física e/ou químicas através de equipamentos à altas temperaturas, resultando dessas transformações, gases e líquidos inflamáveis. O ideal é que salas integradas de controle em refinarias, estejam situados fora da abrangência da classificação de área, no entanto, devido à fatores técnicos e econômicos, essas salas de controle acabam sendo construídas próximo ou até mesmo no interior das unidades de processos, que é o caso em que se enquadra o objeto da pesquisa deste trabalho.

As Salas Integradas de Controle instaladas em áreas classificadas, devem atender à alguns requisitos de segurança, para que possam abrigar os trabalhadores de forma segura e saudável, para que os mesmos realizem suas atividades de forma eficiente e produtiva. As condições do ar interior dentro do ambiente deve apresentar os parâmetros mínimos de conforto térmico aceitáveis, dentro das normas e legislações vigentes.

Com o intuito de alcançar os objetivos propostos, utilizaremos neste trabalho a seguinte metodologia. Através da pesquisa e estudo das normas brasileiras e legislações vigentes, que regem o setor de ar condicionado, avaliaremos se o projeto da Instalação do sistema ventilação e ar condicionado instalado em uma sala de controle de uma refinaria de petróleo cumpriu os critérios mínimos de projeto estabelecidos nas normas.

A NBR 16401 (2008), intitulada “Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitário”, será a fonte principal de consulta deste trabalho. Com a posse dos documentos de projeto, como Memórias de Cálculo, Folha de Dados de Equipamentos

e Especificações Técnicas, será realizado uma análise crítica do sistema instalado e se o mesmo correspondeu ao especificado na norma referenciada. Nesta fase será avaliado as documentações de projeto, as especificações, desde a sua concepção, comissionamento e entrega da obra concluída.

Após analisarmos as documentações de projeto, iremos analisar os equipamentos instalados e avaliar se variáveis de projeto, como temperatura, pressão e velocidade do ar, correspondem aos resultados das memórias de cálculo e se os equipamentos instalados correspondem aos dimensionamentos apresentados.

Além da verificação da aplicação da norma de projeto acima, iremos avaliar se o sistema instalado cumpre o estabelecido na Lei 13. 589/18 do Ministério da Saúde que obriga ao cumprimento de um plano de manutenção, operação e controle do sistema condicionamento de ar instalado da Resolução 009/2003 da ANVISA que padroniza as referências de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. E por fim, diante dos resultados apresentados propor melhorias para o sistema.

Desta forma, o presente trabalho caracteriza-se como um estudo bibliográfico, de natureza básica, com uma abordagem qualitativa, pois tem como objetivo para o alcance dos resultados o uso de uma pesquisa bibliográfica no seu desenvolvimento e o embasamento em consulta de documentos normativos. Através deste trabalho, queremos identificar a importância da instalação de um sistema de condicionamento de ar, para a saúde das pessoas que ocupam uma sala de controle de uma refinaria de petróleo.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir da metodologia apresentada, levantaremos os valores das cargas térmicas da sala de controle, o cálculo das vazões de ar exterior, da vazão de ar de retorno e as medidas realizadas no ambiente da temperatura e umidade do ar realizadas para avaliar se o sistema desempenha o resultado esperado.

4.1 APRESENTAÇÃO DO OBJETO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada em uma sala de controle, de uma unidade de refino de uma refinaria de petróleo. Neste ambiente é realizado o monitoramento e controle dos equipamentos de uma unidade de processo de forma remota. O sistema de ar condicionado instalado trata-se de um sistema de expansão direta, condensação a ar do tipo *Self Contained*. Os ambientes são atendidos por 03 (três) unidades, com capacidade de 15TR cada, sendo um reserva. A distribuição do ar nos ambientes é realizada através de dutos construídos em chapas de aço galvanizado, com isolamento térmico, sendo o ar insuflado nos ambientes através de difusores quadrados em alumínio. A pressurização dos ambientes é realizada através de um sistema de ventilação, com controle de vazão de ar exterior com o objetivo de garantir os níveis de pressurização desejados. O ar que é exaurido dos ambientes é realizado através de exaustores.

Os dados climáticos são o ponto de partida para a análise do problema. Através deles é possível avaliar se as variáveis que se deseja controlar dentro do ambiente, estão dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR 16401 (2008). Nesta norma, nas Tabela de A.3 a A.7 estão os dados climáticos para projeto de 34 cidades brasileiras, agrupadas por região. Na Figura 8, estão os dados climáticos para a região estudada.

Figura 8 - Dados climáticos de projeto

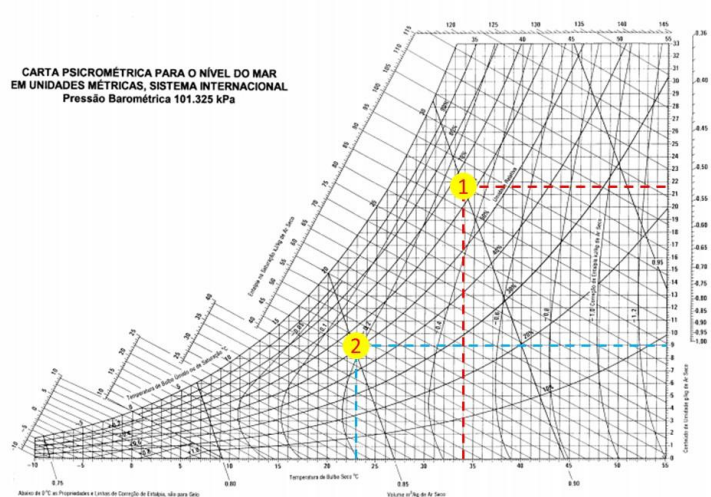
AM	Manaus Eduardo Gomes		Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s	
			3,15S	59,98W	84m	100,32	82/01		33,0	36,7	1,4	20,2	1,1	
Mês>Qt Set	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr Fev	Freq. anual	Aquec. TBS	Umidificação		
	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc		99,6%	TBS	TPO	w	TBSc
ΔTmd 8,0	1%	34,8	25,9	27,3	31,5	26,2	21,8	29,3		99,6%	22,0	19,2	14,1	28,9
	2%	33,2	25,8	26,7	30,8	25,5	21,0	28,7		99%	22,8	20,2	15,1	28,8

Fonte: ABNT (2008)

- Localização – Manaus/Am
- Condições do ar externo: Temperatura de Bulbo Seco (TBS) = 34°C
Umidade relativa do ar (UR) = 65%.
- Condições do Ar Interno para conforto: TBS = 23°C e UR = 50%.

A UR do ar externo de 65%, obtemos através do cruzamento das duas variáveis da Tabela 8, TBS (temperatura de bulbo úmido) e w (umidade absoluta), na carta psicrométrica conforme Figura 9.

Figura 9 - Pontos de estado



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

4.1.1 Características da construção

Através de levantamentos de documentação técnica dos ambientes, realizamos o dimensionamento das áreas dos ambientes condicionados de cada ambiente conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 – Dimensionamento das áreas dos ambientes

<i>Ambientes</i>	<i>Área (m²)</i>
Sala de baterias	35,3
Sala de painéis elétricos	45
Sala de painéis de instrumentação	67,5

Copa	23,2
Sala de Coordenação	15,75
Auditório	20,5
Sala de operadores	75,7
Sala de monitoramento	57,6
Vestiários	47,5

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Ainda de acordo com levantamentos de documentações técnicas da construção da edificação analisada, foi constatado que a mesma foi construída com as paredes externas em bloco de concreto vazado simples, emboço interno e externo. As paredes internas, em bloco de concreto vazado simples e emboço nas duas faces. Conforme projeto arquitetônico o teto em concreto emboçado, emassado com massa PVA e pintado, e o forro em placas de fibra mineral. Quanto à cobertura da edificação foi constatada a utilização de telha em alumínio galvanizada tipo Isocobertura. Esses dados foram importantes para dimensionar a carga térmica por insolação.

4.1.2 Características da ocupação dos ambientes

Um dado importante que devemos considerar na avaliação da qualidade do ar interior dos ambientes é a taxa de ocupação referida à área útil ocupada. Na Tabela 16 é apresentado a taxa de ocupação para cada ambiente analisado.

Tabela 16- Taxa de ocupação

Ambientes	Área (m²)	Ocupação (pessoas)
Sala de baterias	35,3	02
Sala de painéis elétricos	45	02
Sala de painéis de instrumentação	67,5	02
Copa	23,2	06
Sala de Coordenação	15,75	04
Auditório	20,5	10
Sala de operadores	75,7	05
Sala de monitoramento	57,6	04
Vestiários	47,5	12
Total		47

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Para dimensionamento da tomada de ar externo (TAE) e grelha de ar de retorno, adotamos a velocidade do ar externo como sendo de 2,0m/s, a vazão por pessoa segundo a Portaria 3523/98, como sendo 27m³/h e os dados de ocupação da Tabela 16. Com esses dados dimensionamos a área efetiva em cm² da TAE e das grelhas de retorno, conforme Tabela 17.

Tabela 17 - TAE e grelhas de retorno

	Vazão (m ³ /h)	Vazão (m ³ /s)	Vel. ar (m ² /s)	Área (cm ²)	Dimensões B x H (mm)
TAE	1269	0,35	2	1763	785 x 330
Grelha de retorno	9031	2,51	2	12543	1385 x 990

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

4.1.3 Características da renovação de ar

A quantidade de ar de renovação é imprescindível para manter a qualidade do ar dentro de parâmetros aceitáveis de saúde. Este parâmetro foi calculado com base na metodologia adotada no item 5.2 da NBR 16401 (2008), na qual utiliza três parâmetros de cálculo: Inicialmente calcula-se vazão eficaz, depois essa vazão é corrigida através de um fator de distribuição de ar na zona a ser suprida e por último a vazão de ar a ser fornecida pelo sistema de ventilação.

Pela NBR 16401 (2008), calculamos a vazão eficaz através da equação 9:

$$V_{ef} = P_z \cdot F_p + A_z \cdot F_a \quad (9)$$

Onde:

- V_{ef} = Vazão eficaz em m³/h;
- P_z = Taxa de ocupação na zona de ventilação;
- F_p = Vazão por pessoa, expressa em litros por segundo (l/s * pessoa);
- A_z = Área útil ocupada pelas pessoas expressa em metros quadrados (m²);
- F_a = Vazão por área útil ocupada (l/s * m²);

Os resultados calculados para vazão eficaz para cada zona estão apresentados nas Tabelas 18, assim como a vazão eficaz total.

Tabela 18 – Vazão eficaz calculada

	<i>V_{ef} (L/s)</i>	<i>F_p (L/s*peessoa)</i>	<i>F_a (L/s*m²)</i>	<i>P_z</i>	<i>A_z (m²)</i>
Sala de baterias	20,32	3,8	0,5	2	35,3
Sala de painéis elétricos	24,2	3,8	0,5	2	45
Sala de painéis de instrumentação	33,2	3,8	0,5	2	67,5
Copa	27,88	3,8	0,5	6	23,2
Sala de Coordenação	18,7	3,8	0,5	4	15,75
Auditório	39,2	3,8	0,5	10	20,5
Sala de operadores	45,78	3,8	0,5	5	75,7
Sala de monitoramento	35,44	3,8	0,5	4	57,6
Vestiários	56,2	3,8	0,5	12	47,5
Total	372,65			47	

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

A vazão a ser suprida na zona de ventilação é corrigida através de um fator de eficiência de distribuição de ar nas zonas, conforme Tabela 19 adaptada da NBR 16401 (2008).

Tabela 19 - Fator de eficiência da distribuição de ar na zona de ventilação

<i>Configurações da distribuição de ar</i>	<i>E_z</i>
Insuflação de ar frio pelo forro.	1,0
Insuflação de ar quente pelo forro e retorno pelo piso.	1,0
Insuflação de ar quente pelo forro, 8° C ou mais acima da temperatura do espaço e retorno pelo forro.	0,8
Insuflação de ar quente pelo forro a menos de 8° C acima da temperatura do espaço pelo forro, desde que o jato de ar insuflado alcance uma distância de 1,4m do piso à velocidade de 0,8m/s.	1,0
Insuflação de ar frio pelo piso e retorno pelo forro, desde que o jato de ar insuflado alcance uma distância de 1,4m ou mais do piso à velocidade de 0,8m/s.	1,0
Insuflação de ar frio pelo piso, com fluxo de deslocamento a baixa velocidade e estratificação térmica, e retorno pelo forro.	1,2
Insuflação de ar quente pelo piso e retorno pelo piso	1,0
Insuflação de ar quente pelo piso e retorno pelo forro	0,7
Ar de reposição suprido do lado oposto à exaustão ou ao retorno	0,8
Ar de reposição suprido à proximidade da exaustão ou do retorno	0,5

Fonte: Adaptado de ABNT (2008)

Para o caso analisado, em que a insuflação de ar é realizada pelo forro, não foi necessário fazer a correção na vazão a ser suprida.

Portanto a vazão a ser suprida na zona de ventilação calculada para o sistema fica:

$$V_z = \frac{V_{ef}}{E_z} = \frac{372,65}{1} = 372,65 \frac{l}{s}$$

Para sistema de múltiplas zonas com 100% de ar exterior a norma estabelece que a vazão a ser suprida pelo sistema seja igual a vazão a ser suprida na zona de ventilação.

Considerando a vazão média por pessoa (47 pessoas) para o sistema estudado, chegamos ao valor de $372,65/47 = 7,92$ l/s ou 28,54 m³/h.

A Portaria 3.523/98, do Ministério da Saúde, estabelece uma taxa de 27m³/h, por pessoa, para renovação do ar.

4.1.4 Dados de carga térmica

Os dados apresentados na sequência foram retirados da documentação técnica de projetos do sistema, e de acordo com a avaliação realizada, não houveram mudanças significativas, sejam de ampliação ou redução, até a presente data da pesquisa realizada. Na Tabela 20 apresentamos a dissipação de calor dos equipamentos existentes nos ambientes.

Tabela 20 - Dissipação dos equipamentos

<i>Ambiente</i>	<i>Equipamento</i>	<i>Dissipação Total (W)</i>
Sala de baterias	Baterias	1940
Sala de painéis elétricos	Painéis elétricos	17431
Sala de painéis de instrumentação	Painéis de Instrumentação	8105
Áreas administrativas	Computadores	450
Total		27926

Fonte: Adaptado das memórias de cálculo de projeto

Na Tabela 21 apresenta os dados de resumo das cargas térmicas calculadas para cada ambiente da sala de controle. Esses dados foram retirados das memórias de cálculo do projeto do sistema de ar condicionado.

Tabela 21 - Resumo dos dados

<i>Ambiente</i>	<i>Capacidade Adotada (TR)</i>	<i>Vazão de Ar (m3/h)</i>	
		<i>Insuflamento</i>	<i>Ar exterior</i>
Sala de baterias	4,09	2780	2150
Sala de painéis elétricos	2,47	1.680	1.110
Sala de painéis de instrumentação	6,18	4.200	1.900
Copa	1,91	1.360	135
Sala de Coordenação	0,96	850	135
Auditório	1,71	1.160	270
Sala de operadores	7,07	4.510	1011
Sala de monitoramento	5,29	3600	1.539
Total	25,59	20140	8250

Fonte: Adaptado das memórias de cálculo de projeto

Diante do valor da carga térmica total verificamos que a especificação do equipamento atende ao que foi calculado. Sendo necessário a instalação de duas máquinas de 15 toneladas de refrigeração (15 TR) conforme projeto. Na Tabela 22 segue a especificação do equipamento de condicionamento de ar self contained.

Tabela 22 – Especificação da unidade condicionadora de ar *self contained*

<i>Descrição</i>	<i>Especificação</i>
Serviço	Ar Condicionado
Tipo	Condensação a ar
Capacidade total	15 TR
Pressão estática	45 mmca
Carga térmica nominal	52.800 Watts
Vazão de ar	10.200 m3/h
Gás refrigerante	R 407C
Consumo de energia	18,8 kW
Características elétricas	440V/3F/60Hz
Nível de filtragem Classe	G2/G5

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

4.2 MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS DE CONFORTO TÉRMICOS

Os instrumentos de medição utilizados para coletar as medidas das variáveis e conforto térmico no interior da CIC foram:

Medidor de stress térmico Mod. TGD-400 (Figura 10), com sensor de bulbo seco para medir a temperatura ambiental, sensor de bulbo úmido para avaliar a taxa de evaporação indicando os efeitos da umidade na pessoa e o globo térmico que promove uma indicação da exposição ao calor devido à luz direta e aos outros objetos radiantes de calor no ambiente. O equipamento possui as seguintes características:

Medição de temperatura:

- Sensor: Termostato NTC para medições de temperatura do Globo, bulbo seco e bulbo úmido;
- Escala: $-10 \sim 150^{\circ}\text{C}$;
- Resolução: 0.1°C , 0.1°F ;
- Precisão: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, $\pm 0.9^{\circ}\text{F}$.

Medição do Fluxo de ar:

- Sensor: Fio quente;
- Escala: 0 até 20m/s ;
- Resolução: 0.1m/s ;
- Precisão: $\pm (4\% \text{ da leitura} + 0.1\text{m/s})$.

Para a determinação da temperatura média de uma corrente de ar no ambiente foram tomadas algumas precauções para evitar não-uniformidade de temperatura, através da corrente de ar.

Desta forma, o equipamento foi posicionado no centro da área de cada ambiente de tal forma que pudesse registrar todas as medições sem que houvesse nenhuma interferência na medição.

Figura 10 - Equipamento para medição dos parâmetros de conforto



Fonte: Instrutherm (2021)

Foi realizado as medições dos parâmetros de conforto térmico e constatado que dos parâmetros de temperatura, umidade e ventilação se enquadram dentro do estabelecido na NBR 16401 (2008) conforme Tabela 1, já apresentada neste trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das funções mais importantes de um sistema de ventilação e ar condicionado é fazer com que ar do ambiente esteja dentro de condições adequadas de conforto e saúde para os ocupantes, principalmente quando a edificação é construída dentro de área industrial em que as pessoas realizam atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes tais como salas de controle, objeto desta pesquisa,

Após a análise da instalação do sistema de ventilação e ar condicionado na sala de controle, verificamos que o projetista teve a preocupação de considerar todos os elementos possíveis que impactam diretamente nas medidas das variáveis de conforto dos ambientes. O sistema instalado permite que o ar seja insuflado através de uma rede de dutos desde a captação externa até os pontos de insuflamento nos ambientes. O ar captado é condicionado através um sistema de troca de calor do tipo *self contained*, que retira calor do ar e o condiciona até os parâmetros adequados especificados em normas. As condições internas nos ambientes são mantidas sempre adequadas às necessidades operacionais de cada ambiente, através de respectivos sensores, que controlam e modulam as variáveis requeridas.

Outro fator importante que foi avaliado foi a existência do plano de manutenção, operação e controle, PMOC dos equipamentos instalados. Além de ser importante pois mantém os equipamentos em perfeito funcionamento é um requisito legal determinado pela Lei Federal de nº 13.589/18 que obriga que todos os ambientes públicos e coletivos, que possuam ambientes climatizados artificialmente, possuam um plano de manutenção visando à eliminação ou minimização de riscos potenciais à saúde dos ocupantes.

Vale destacar que atualmente estamos vivendo uma pandemia, e diante da exposição ao vírus, se faz necessário um cuidado redobrado com relação à limpeza e higienização dos dutos e uso correto do sistema de filtragem. A especificação de filtros de forma correta é importante para assegurar a qualidade do ar interior, no entanto ainda não constam estudos de que são suficientes para reter o vírus do SARS-CoV2. Nesta condição é importante que o plano de manutenção seja estabelecido e cumprido nos prazos determinados.

Diante do estudo apresentado pode-se verificar a importância da instalação de um sistema de ventilação e ar condicionado pois está diretamente relacionado com a saúde e segurança de pessoas.

Como contribuição deste trabalho, fica as orientações para cumprimento do Plano de Manutenção, Operação e Controle, pois ele determina com que frequência as manutenções preventivas devem ser realizadas no sistema, assim como manter o sistema de filtragem do sistema sempre limpo, pois é importante para assegurar a qualidade do ar no interior dos ambientes. Considerando o momento que passamos de pandemia, em que a purga de contaminantes do ar é muito importante na preservação da saúde dos ocupantes dos recintos, o sistema de ventilação se torna um aliado de grande valia.

Como recomendação para trabalhos futuros, faz necessário melhorar a aquisição de dados, utilizando instrumentos mais precisos, para medir a pressão, temperatura e umidade do ar, em períodos mais prolongados para se avaliar a flutuação dos valores em função da ocupação dos ambientes e em horários diferentes do dia e estações do ano.

6 REFERÊNCIAS

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC N° 09**. [S.I.]. 2003.

ASHRAE. **Fundamentals Handbook (SI)**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida**. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico**. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das instalações**. Rio de Janeiro. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico**. Rio de Janeiro. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior.** Rio de Janeiro. 2008.

CREDER, Hélio. **Instalações de ar condicionado.** 6^a. ed.

FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual de conforto térmico.** 5. ed. ed.

MACINTYRE, Archibald J. **Ventilação industrial e controle da poluição.** 2^a. ed.

MITCHELL, John W.; BRAUN, James E. **Princípios de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar em edificações.**

PIRANI, Marcelo J. **Refrigeração e Ar Condicionado.** Universidade Federal da Bahia. [S.I.].

SILVA, Jesué G. D. **Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização.** 3^a. ed.