



ENGENHARIA MECÂNICA

MÁRCIO ROSSINY BENFEITO DE SOUZA
HADIB PEREIRA CARVALHO

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA AR CONDICIONADO PARA A ACADEMIA PRÓ FITNESS NA CIDADE DE GUAÇUÍ - ES

Itaperuna – RJ
2022

MÁRCIO ROSSINY BENFEITO DE SOUZA
HADIB PEREIRA CARVALHO

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA AR CONDICIONADO PARA A ACADEMIA
PRÓ FITNESS NA CIDADE DE GUAÇUÍ - ES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de
bacharelado em Engenharia
Mecânica ao Centro Universitário
Redentor.

Orientador: Jessica Guimarães Hiller Ferreira

Itaperuna
2022

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autores: MÁRCIO ROSSINY BENFEITO DE SOUZA e HADIB PEREIRA CARVALHO.

Título: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA AR CONDICIONADO PARA A ACADEMIA PRÓ FITNESS NA CIDADE DE GUAÇUÍ – ES.

Natureza: Trabalho de Conclusão de Curso.

Objetivo: Título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Instituição: Centro Universitário Redentor.

Área de Concentração: Engenharia Mecânica

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora:

Prof.

M.Sc.

Instituição:

Prof.

M.Sc.

Instituição:

Prof.

M.Sc.

Instituição:

RESUMO

A região onde está localizada a cidade de Guaçuí - ES possui clima tropical, quente e úmido, gerando uma grande necessidade de climatizar ambientes com temperaturas agradáveis, visando o conforto térmico dos locais. Com os avanços tecnológicos constantes dos condicionadores de ar, desenvolver equipamentos eficientes e adequados para ambientes diversos, levando em conta a necessidade do cliente e o custo-benefício oferecido pelo produto, é sempre o alvo dos projetistas desse tipo de sistema. O sistema *split* une portabilidade e facilidade de instalação, além de apresentar excelente cust-benefício. Este projeto tem como objetivo dimensionar um sistema de condicionadores de ar *Split* para a academia Pró Fitness que está no segundo de 3 andares em um edifício localizado em Guaçuí – ES. No cálculo de carga térmica, obteve-se o valor de 203.000 BTU/h, aproximadamente. A seleção dos equipamentos foi feita com base em uma análise da estrutura física da academia, apenas 2 paredes eram aptas para receber os equipamentos.

Palavras-chave: climatização, carga térmica, conforto térmico, Ar-condicionado.

ABSTRACT

The region where the city of Guaçuí - ES is located has a tropical, hot and humid climate, generating a great need to acclimatize environments with pleasant temperatures, aiming at the thermal comfort of the places. With constant technological advances in air conditioners, developing efficient and suitable equipment for different environments, taking into account customer needs and the cost-effectiveness offered by the product, is always the target of designers of this type of system. The split system combines portability and ease of installation, in addition to presenting excellent cost-benefit. This project aims to dimension a Split air conditioner system for the Pro Fitness gym which is on the second of 3 floors in a building located in Guaçuí - ES. In the calculation of the thermal load, the value of 203,000 BTU/h was obtained, approximately. The selection of equipment was based on an analysis of the physical structure of the gym, only 2 walls were able to receive the equipment.

Keywords: air conditioning, thermal load, thermal comfort, air conditioning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Primeiro aparelho de ar condicionado.....	12
Figura 2: Self contained.....	14
Figura 3: Ar condicionado Tipo Split.....	15
Figura 4: Split cassete.....	15
Figura 5: Built-in.....	16
Figura 6: Multi split.....	16
Figura 7: Condicionador de ar tipo janela.....	17
Figura 8: Transferência de calor por condução.....	19
Figura 9: Transferência de calor por convecção.....	20
Figura 10: Transferência de calor por radiação.....	21
Figura 11: Ciclo ideal de refrigeração.....	23
Figura 12: Ciclo real de refrigeração.....	24
Figura 13: Compressor alternativo.....	26
Figura 14: Compressor rotativo.....	27
Figura 15: Compressor do tipo scroll.....	27
Figura 16: Compressor tipo parafuso.....	29
Figura 17: Compressor centrífugo.....	30
Figura 18: Evaporador.....	31
Figura 19: Condensadora à ar.....	33
Figura 20: Condensador tipo serpentina.....	34
Figura 21: Válvula de expansão.....	35
Figura 22: Transmissão de calor solar através de vidro.....	44
Figura 23: Partes da carta psicrométrica.....	54
Figura 24: Evaporadora 55000 BTU/h.....	57
Figura 25: Evaporadora 48000 BTU/h.....	57
Figura 26: Condensadora 55000 BTU/h.....	58
Figura 27: Condensadora 48000 BTU/H.....	58
Figura 28: Vista Superior Academia.....	64
Figura 29: Carta Psicrométrica.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de h para velocidade do vento.....	40
Tabela 2: Coeficiente de transmissão de calor dos materiais de construção.....	42
Tabela 3: Percentual de Energia Radiante em função da cor.....	43
Tabela 4: Tipo de borda do fechamento transparente.....	44
Tabela 5: Tipo de proteção do fechamento transparente.....	45
Tabela 6: Gradiente de temperatura em função das variáveis relativas à própria temperatura.....	45
Tabela 7: Gradiente de temperatura em função das variáveis relativas à própria temperatura.....	46
Tabela 8: Calor liberado por pessoa (kcal/h).....	47
Tabela 9: Valores recomendados para consumo de energia elétrica para iluminação.....	48
Tabela 10: Calor liberado por fontes diversas.....	49
Tabela 11: Calor liberado por equipamentos de escritório.....	50
Tabela 12: Ar exterior para ventilação.....	51
Tabela 13: Fluxo de ar externo pelas portas.....	51
Tabela 14: Fluxo de ar exterior para renovação.....	53
Tabela 15: Carga térmica academia Pró-Fitness.....	56
Tabela 16: Lista de materiais.....	57
Tabela 17: Orçamento.....	59
Tabela 18: Dados do cliente.....	64
Tabela 19: Características do verão local.....	64
Tabela 20: Características do local.....	64
Tabela 21: Área a ser climatizada.....	64
Tabela 22: Coeficiente de transmissão de calor através dos vidros.....	66
Tabela 23: Acréscimo ao diferencial de temperatura.....	67
Tabela 24: Ganho de calor em watts por HP para materiais elétricos.....	67

SUMÁRIO

RESUMO.....	3
ABSTRACT.....	4
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos	9
1.1.1 Objetivos gerais.....	9
1.1.2 Objetivos específicos.....	10
1.2 Justificativa.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 História do ar condicionado	11
2.2 Tipos de ar condicionado	12
2.2.1 Sistema central.....	12
2.2.2 Sistema Split	14
2.2.3 Sistema individual ou de janela	16
2.3 Meios de transferência de calor.....	18
2.3.1 Condução.....	18
2.3.2 Convecção	19
2.3.3 Radiação	20
2.4 Ciclos de Refrigeração.....	22
2.4.1 Ciclo ideal de refrigeração à vapor	22
2.4.2 Ciclo real de refrigeração à vapor	24
2.5 Componentes de um ar condicionado	24
2.5.1 Compressor	25
2.5.2 Evaporador	30
2.5.3 Condensador	32
2.5.4 Dispositivos de expansão	34
2.5.5 Fluido refrigerante	36

2.6 Conforto térmico	36
2.7 Normas	37
3 METODOLOGIA	39
3.1 Análise do edifício e clima local	39
3.2 Cálculo da carga térmica	39
3.2.1 Cálculo da carga térmica por condução	40
3.2.2 Cálculo da carga térmica por insolação.....	43
3.2.3 Cálculo da carga térmica devido às pessoas	46
3.2.4 Cálculo da carga térmica devido aos equipamentos e iluminação	47
3.2.5 Cálculo de carga térmica por renovações de ar	50
3.3 Carga térmica total	54
3.4 Seleção dos equipamentos	55
4 RESULTADOS.....	56
4.1 Carga térmica e seleção dos equipamentos.....	56
4.2 Orçamento	58
5 CONCLUSÃO	60
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
APÊNDICE A	63
APÊNDICE B	68
1.0 Carga Térmica devido à Condução e Insolação – Calor Sensível.....	69
2.0 Carga Térmica devido à Condução e insolação em Superfícies Transparentes – Calor Sensível	75
3.0 Carga Térmica devido às pessoas.....	76
4.0 Carga Térmica devido aos equipamento elétricos e Iluminação - Calor Sensível.....	77
5.0 Carga Térmica por renovação de Ar.....	78
6.0 Carga térmica total	79
APÊNDICE C	80

1 INTRODUÇÃO

O ser humano está em busca de conforto e bem estar, seja no seu local de serviço ou lazer. O conforto térmico já deixou de ser um luxo e passou a ser algo essencial na hora de trabalhar, estudar, descansar ou desempenhar qualquer outra função. Em um ambiente confortável termicamente o homem pode desempenhar sua função sem ser submetido a fadiga ou estresse.

Nos últimos anos, tem havido uma maior preocupação com o meio ambiente e com o aumento de temperatura frequentemente, devido ao aquecimento global, a necessidade do uso do ar condicionado torna-se cada vez mais necessário em diversas regiões, com isso a refrigeração é de grande importância para o conforto térmico do indivíduo (KLIMARS, online).

Devido as altas de temperaturas citadas acima, onde ocorreram durante os últimos anos, o mercado de ar condicionado vem aumentando e com isso, a busca por melhorias para o desempenho de seus equipamentos é constante (KLIMARS, online).

Conhecendo os princípios básicos do conforto térmico nota-se que a temperatura ideal é de 23 a 25 °C com uma umidade relativa de 65%, de forma a obter o melhor desempenho dos aparelhos instalados e um menor custo sem mudar a estrutura arquitetônica, submetendo o recinto a certas condições de forma a alcançar o objetivo da instalação (FROTA e SCHIFFER, 2007).

Diante disso, o presente trabalho visa o dimensionamento de um sistema de condicionamento de ar para que o local em questão ofereça aos seus clientes um ambiente confortável e sem nenhum incômodo térmico.

1.1 Objetivos

Os objetivos são classificados como Geral e Específico.

1.1.1 Objetivos gerais

O objetivo deste projeto é dimensionar um sistema de climatização para que a academia pró-fitness ofereça a seus alunos um ambiente confortável e sem nenhum incômodo térmico.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analizar a planta da academia;
- Dimensionar o sistema de refrigeração do *Split*;
- Estimar a carga térmica necessária para climatizar o ambiente;
- Elaborar memorial de cálculo;
- Desenvolver memorial descritivo;
- Elaborar desenho técnico do sistema de condicionamento de ar;
- Elaborar orçamento.

1.2 Justificativa

O projeto se justifica pela necessidade da instituição em oferecer um ambiente confortável e esteticamente agradável.

Por se tratar de uma academia, onde o bem estar e o conforto térmico são primordiais para quem ali estiver realizando suas atividades físicas, será desenvolvido e dimensionado um projeto de climatização para proporcionar um maior conforto, e uma temperatura e umidade adequada ao ambiente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica servirá de amparo teórico para a metodologia aplicada nesse trabalho.

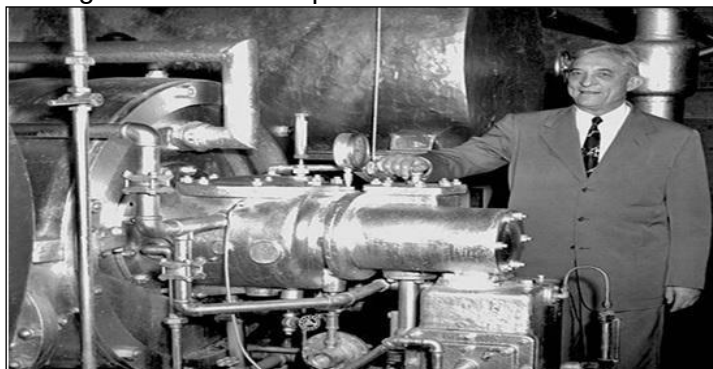
2.1 História do ar condicionado

A história do ar condicionado teve início em 1902 quando o jovem engenheiro Willis Carrier de 25 anos e recém formado na universidade de Cornell, buscando uma solução para um problema específico da indústria gráfica de Nova York, a Sackett-Wilhelms Lithography and Publishing Co., criou um processo mecânico para condicionamento de ar. Nos dias mais quentes a gráfica enfrentava problemas com a queda da qualidade das impressões gerando imagens borradas e obscuras devido a umidade do local. Carrier então criou uma máquina capaz de refrigerar o ar fazendo-o circular por dutos de ar refrigerado artificialmente fazendo com que baixasse a temperatura e a umidade do ar, tal processo foi o primeiro envolvendo condicionamento de ar por contínuo processo mecânico (KLIMARS, online).

Com o sucesso do equipamento, em 1914 Carrier desenvolveu um aparelho para conforto residencial que foi utilizado pela primeira vez em uma residência no estado norte americano de minnesota. A partir desses feitos foram criados também ar condicionado para hospitais, cinemas, arranha-céus com distribuição de ar em alta velocidade e outros. Após o falecimento de Willis Carrier em 1950 o equipamento para residência tomou grandes proporções e passou a ter sua produção em série e com o passar dos anos tal objeto se tornou cada vez menor e mais eficiente (KLIMARS, online).

A figura 1, apresenta o primeiro modelo de ar condicionado, fabricado por Willis Carrier.

Figura 1: Primeiro aparelho de ar condicionado



Fonte: US4, Ar condicionado Ltda, online.

2.2 Tipos de ar condicionado

Apesar de todos os equipamentos de ar condicionados partirem do mesmo princípio de refrigeração, eles se diferem na parte de distribuição de seus componentes.

Os equipamentos de ar condicionado são divididos da seguinte forma:

- Sistema central;
- Sistema Split;
- Sistema Individual ou de Janela.

2.2.1 Sistema central

O sistema de ar condicionado central é formado por equipamentos de grande porte que podem refrigerar um ou mais ambientes, sendo usado somente em grandes projetos com altas cargas térmicas devido ao seu alto custo, como grandes salões e prédios. Apesar desse tipo de equipamento ter um alto valor comercial, em longo prazo se obtém uma boa economia no consumo de energia elétrica (COSTA, 2011).

Quando se trata de refrigeração por ar condicionado central, pode-se usar sistemas diferentes para realizar a climatização do ambiente, sendo os principais meios através do insuflamento e refrigeração do ar ou o resfriamento pelo sistema de água gelada (SILVA, 2004).

O sistema Self contained possui uma caixa Plenum que insufla o ar condicionado diretamente no ambiente. É um aparelho compacto preparado para condicionar o ar, filtrar, aquecer, refrigerar, umidificar ou desumidificar o ar, seu

condensador pode ser resfriado a ar ou com condensação à água (SILVA e SILVA, 2007).

Quando a condensação é a ar usa-se um ventilador centrífugo para força a circulação do ar entre as aletas do condensador, fazendo com que o ar do ambiente externo passe pelas aletas do condensador retirando o calor do fluido no estado de vapor, que se condensa e passa para o estado líquido. (SILVA e SILVA, 2007).

No caso de condensação à água é necessária uma torre para realizar o resfriamento da água que passa pelo condensador retirando o calor do fluido refrigerante, fazendo com que o fluido no estado de vapor passe para o estado líquido. A água aquecida no condensador é bombeada para uma torre de resfriamento para liberar o calor retirado do fluido. (SILVA e SILVA, 2007).

Esse tipo de aparelho conta com uma torre de arrefecimento que geralmente fica instalada nas laterais ou topo dos edifícios. Esse componente tem como função retirar o calor da água que por sua vez circula pela tubulação retirando o calor dos ambientes condicionados de modo a atingir a temperatura desejada, com isso a água com uma alta temperatura, chega à torre onde é resfriada até a temperatura ambiente e volta para a tubulação para absorver mais calor (BIULDINGS, online).

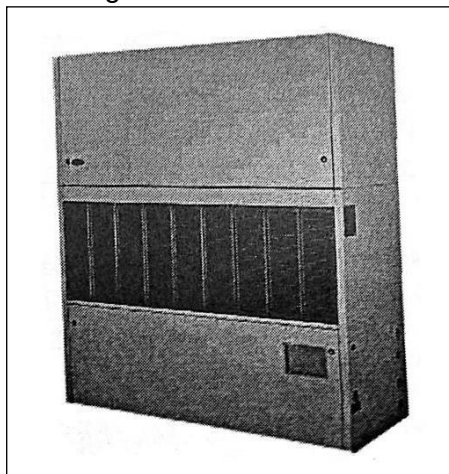
O condensador fica integrado à torre de arrefecimento e tem como função retirar o calor contido no fluido refrigerante antes de seguir para o compressor, dessa forma o compressor realiza menos trabalho, pois na falta do condensador o compressor teria mais dificuldade para comprimir o fluido, aumentando o consumo de energia (BIULDINGS, online).

O sistema de ar condicionado central mais utilizado é o fan-coil, que é muito utilizado para distribuir a água com baixa temperatura pelas tubulações, principalmente no caso de prédios, sendo instalado um fan-coil para cada andar ou conjunto de edifício. Ele geralmente fica localizado na lateral dos edifícios para que possa obter ar externo e o misturando com o ar interno de modo a controlar a temperatura do ambiente interior. Esse equipamento ainda possui um ventilador acoplado para forçar a circulação do ar entre as tubulações do trocador de calor, fazendo com que o ar transfira o calor para água e perca temperatura, sendo logo em seguida distribuído pelo edifício através dos dutos. Após a água absorve o calor do ar ventilado e passar pelo trocador de calor ela esquenta e retorna ao sistema externo para que o ciclo recomece (BIULDINGS, online).

A figura 2 mostra um compressor do tipo self contained usado em grandes

instalações.

Figura 2: Self contained



Fonte: Silva, 2004.

2.2.2 Sistema Split

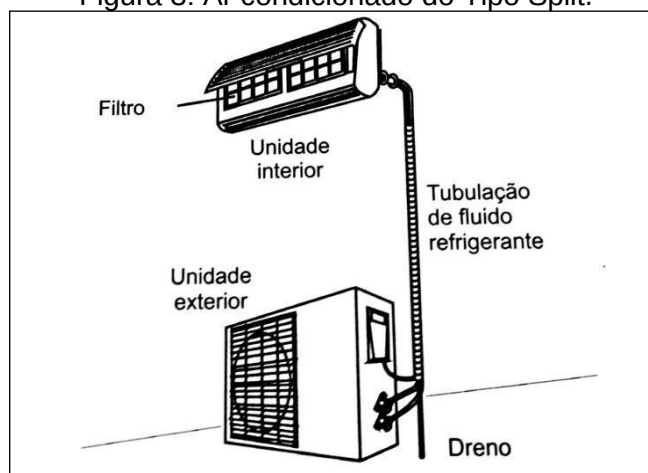
O sistema de ar condicionado Split (só é considerado split quando possui uma unidade condensadora separada) é um dos mais usados nos dias atuais, esse sistema não precisa de grandes buracos nas paredes como os condicionadores de ar de janela (ou parede), pois se divide em duas partes que ficam ligadas por um tubo de cobre e necessita de um pequeno buraco para a passagem desse tubo (SILVA, 2004).

A parte do aparelho que fica no interior do ambiente a ser refrigerado é o evaporador, que retira o calor do ambiente interno e o transfere para o fluido refrigerante fazendo com que ele ganhe temperatura e mude seu estado de mistura saturada para vapor. No lado exterior fica o condensador (Compartimento onde se localiza o compressor e o condensador), devido ao ruído causado por essa parte do equipamento, esse componente tem como função retirar a energia térmica contida no fluido refrigerante e a transfere para o ambiente externo, fazendo com que o fluido retorne a líquido. Dependendo do modelo split, o dispositivo de expansão pode estar na unidade interna ou na unidade condensadora, sendo que geralmente é instalada na unidade condensadora, pois assim se evita ruídos no ambiente interno devido a expansão do fluido refrigerante líquido (SILVA e SILVA, 2007).

Podemos observar também que diferente do sistema de ar condicionado central, nesse sistema, quem circula pelas tubulações é o fluido refrigerante e não a água (SILVA e SILVA, 2007).

A figura 3 demonstra um esquema de um ar condicionado do tipo split.

Figura 3: Ar condicionado do Tipo Split.



Fonte: Miller e Miller, 2008.

É importante ressaltar que caso a máquina externa fique distante do ponto de insuflamento interno, por mais de 30m, o sistema começa a perder eficiência, sem esquecer de que sempre deve ser observado o limite do fabricante (BIULDINGS, online).

Devido ao fator desse sistema ter sua divisão entre o evaporador e condensador, foi possível criar diferentes modelos para atender a diferentes especificações, tendo permitido criar adaptações parecidas com a do sistema de ar condicionado central, reduzindo a corrente de ar e dispersando de forma mais eficiente o ar frio (BIULDINGS, online).

- **Split Cassete** como é mostrado na figura 4 é um tipo de ar condicionado Split em um formato já pronto para ser embutido no teto ou forro (BIULDINGS, online).

Figura 4: Split Cassete.



Fonte: Climacel ar condicionado, online.

- **Built-in** como é mostrado na figura 5 é um tipo Split também chamado de dutado geralmente indicado para projetos de grande porte com carga térmica alta. Fica localizado no teto.

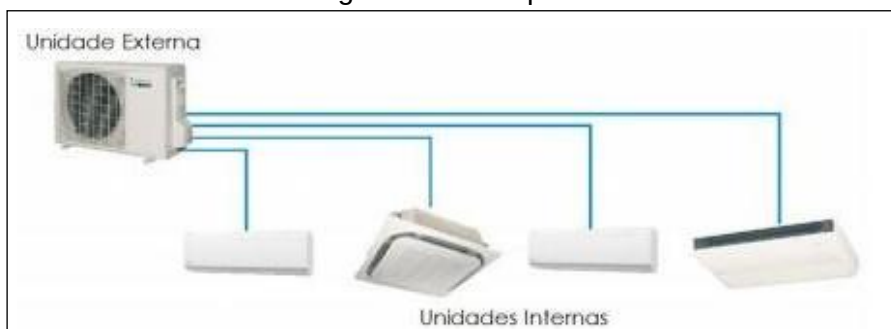
Figura 5: Built-in.



Fonte: FR climatização, online.

- **Multi-Split** como é mostrado na figura 6 é um equipamento externo que pode ser ligados a duas ou mais evaporadoras, podendo refrigerar mais de um ambiente simultaneamente, geralmente é encontrado no mercado com dois ou quatro evaporadores (BIULDINGS, online).

Figura 6: Multi Split.



Fonte: FR climatização, online.

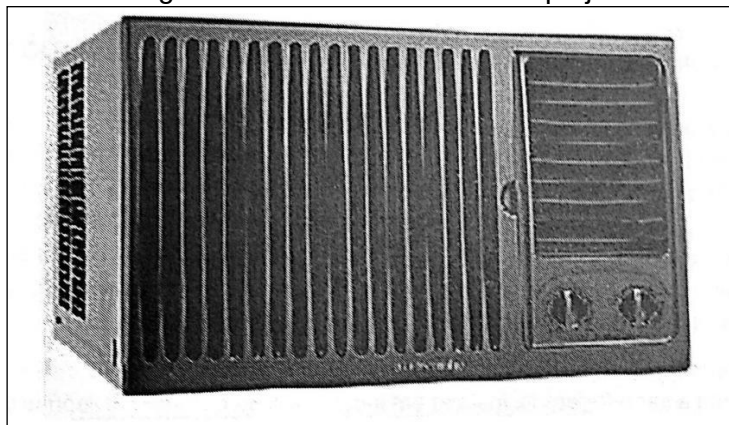
2.2.3 Sistema individual ou de janela

O sistema de ar condicionado de janela ou de parede foi o primeiro a ser comercializado e produzido em série para uso em residências domésticas. Por terem uma baixa capacidade que vai de 7000 BTU/h a 30000 BTU/h, ele geralmente é requisitado em ambientes menores e com cargas térmicas baixas, e com o surgimento do sistema de ar condicionado Split, eles acabaram perdendo espaço no mercado, sendo visto apenas em prédios e edifícios mais antigos em que não foi instalado o sistema central ou em locais onde o nível de ruído não influencia. Esse tipo de aparelho tem uma fácil instalação, não sendo preciso mão de obra especializada devido ao fato de que é necessário apenas um grande buraco na parede para sua instalação, o que é uma grande desvantagem, pois acabam sofrendo restrições na instalação em condomínios/edifícios devido à estética de fachada (BIULDINGS,

online).

A figura 7 mostra um modelo de ar condicionado do tipo janela, mais usado em construções mais antigas.

Figura 7: Condicionador de ar tipo janela.



Fonte: Silva, 2004.

Esse condicionador de ar é um modelo bem compacto, devido ao fato de que todos os seus componentes pertencem ao mesmo gabinete, o que resulta em um problema, pois devido a isso, esse equipamento também é o que mais gera ruídos dentro do ambiente refrigerado (SILVA, 2004).

O modelo de janela também possui sua vantagem, pois além de ser compacto, tem um custo menor que o de outras linhas e não precisa de mão de obra qualificada para sua instalação como foi citado acima (BIULDINGS, online).

Os componentes presentes no ar condicionado de janela são:

- Um Compressor;
- Uma válvula de expansão;
- Um condensador (do lado de fora);
- Um evaporador (do lado de dentro);
- Dois ventiladores;
- Uma unidade de controle.

Os ventiladores têm como função força a circulação do ar pelos trocadores de calor, para que melhore a dissipação de calor para o ambiente externo e a refrigeração do ambiente interno (BIULDINGS, online).

2.3 Meios de transferência de calor

A partir dos estudos da termodinâmica, foi possível observar que a energia pode ser transferida através de interações de um sistema com sua vizinhança, essas interações são conhecidas por calor e trabalho. Uma definição simples, porém geral, fornece uma resposta adequada à pergunta: O que é transferência de calor? Transferência de calor (ou calor) é a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperatura, e existem três tipos de transferência de calor, condução, convecção e radiação. (INCROPERA, 2007).

A transferência de calor ocorre devido ao fato de que, os objetos tendem ao equilíbrio térmico com sua vizinhança, e para isso é necessário que haja algum tipo de troca de energia entre o sistema e a vizinhança. O calor é definido como a energia que flui entre um sistema e sua vizinhança devido a uma diferença de temperatura entre eles (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 2007).

2.3.1 Condução

A condução pode ser vista como a transferência de energia das partículas mais energéticas para as partículas de menor energia em um meio, devido às interações entre elas. Temperaturas mais elevadas estão associadas a energias moleculares maiores, e, quando as moléculas vizinhas colidem, conforme ocorre constantemente, há necessariamente transferência de energia das moléculas de maior energia para as de menor energia. Na presença de um gradiente de temperatura, ocorre a transferência de energia por condução (INCROPERA, 2007).

É possível quantificar os processos de transferência de calor em termos das equações de taxa de transferência de calor apropriadas. Essas equações podem ser utilizadas para calcular a quantidade de energia transferida por unidade de tempo. Para a condução de calor, a equação da taxa de transferência é conhecida como *lei de Fourier*. Para a parede plana mostrada na imagem a seguir, que apresenta uma distribuição de temperatura $T(X)$, a equação da taxa de transferência de calor é dada pela Equação 1: (INCROPERA, 2007).

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2)$$

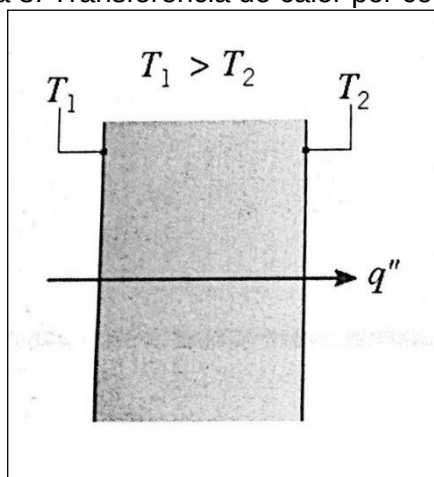
Onde:

q'' é a taxa de transferência de calor por condução (kcal/h.m²);

k é o coeficiente de condutividade.

A figura 8 ilustra a transferência de calor por uma parede por meio de condução.

Figura 8: Transferência de calor por condução



Fonte: INCROPERA, 2007.

2.3.2 Convecção

Pode-se dizer que convecção é a transferência de energia pelo movimento das moléculas de uma parte para outra do material. À medida que o movimento do fluido aumenta, ocorre a transferência de calor convectiva. Quanto maior a movimentação do fluido maior será a transferência de calor entre a superfície do sólido e o fluido (INCROPERA, 2007).

Tipos de transferência de calor convectiva:

- **Convecção natural:** é quando o movimento do fluido é causado por forças naturais, como a de empuxo resultante das variações de densidade devido à variação de temperatura no fluido.

- **Convecção forçada:** é quando o fluxo é forçado a se movimentar por forças externas.

O modo de transferência de calor por convecção é composto de dois

mecanismos. Além da transferência de calor devido ao movimento aleatório molecular (difusão), a energia também é da temperatura é linear, onde a taxa de transferência de calor pode ser expressa pela equação 3: (INCROPERA, 2007).

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (3)$$

Onde:

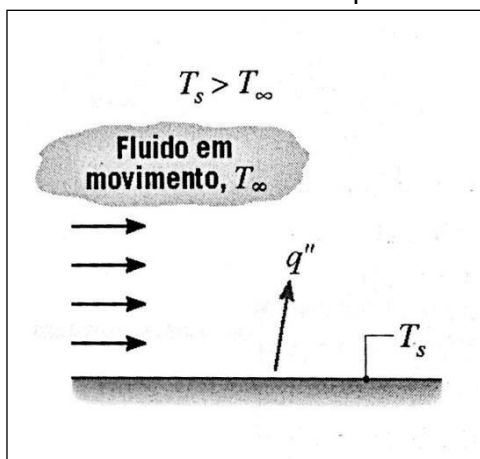
T_s , temperatura da superfície;

T_∞ , temperatura do fluido;

q'' , fluxo de calor;

A figura 9 ilustra a transferência de calor por convecção e suas variáveis de acordo com a formula citada.

Figura 9: Transferência de calor por convecção.



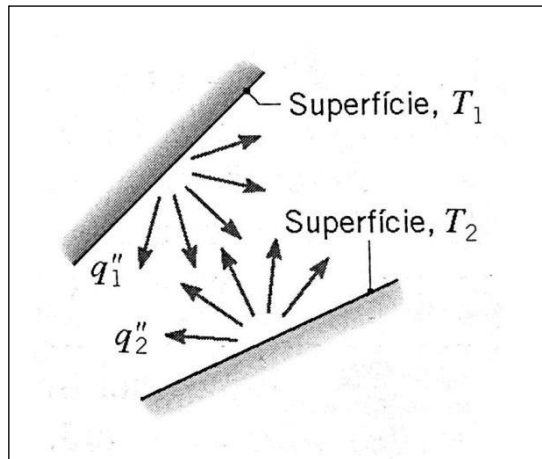
Fonte: INCROPERA, 2007.

2.3.3 Radiação

A radiação térmica, também conhecida como irradiação, é uma forma de transferência de calor que ocorre por meio de ondas eletromagnéticas. Como essas ondas podem propagar-se no vácuo, não é necessário que haja contato entre os corpos para haver transferência de calor. Todos os corpos emitem radiações térmicas que são proporcionais à sua temperatura. Quanto maior a temperatura, maior a quantidade de calor que o objeto irradia. Um exemplo desse processo é o que acontece com a Terra, que, mesmo sem estar em contato com o Sol, é aquecida por ele (INCROPERA, 2007).

A figura 10 mostra a transferência de calor por radiação entre duas superfícies.

Figura 10: Transferência de calor por radiação.



Fonte: INCROPERA, 2007.

A radiação que é emitida por uma superfície se origina na energia térmica da matéria e é delimitada pela superfície. O poder emissivo, E , da superfície, é a taxa na qual a energia é liberada por unidade de área. Existe um limite para o poder emissivo que é determinado pela lei de Stefan-Boltzmann (INCROPERA, 2007).

$$E = \sigma \cdot T_4 \quad (4)$$

Onde:

T é a temperatura absoluta da superfície, [K];

σ , é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{k}^4\text{]}$).

Essa superfície é chamada de corpo negro. O fluxo térmico emitido por uma superfície real é menor que aquele emitido por um corpo negro a mesma temperatura e é dado por: (INCROPERA, 2007).

$$E = \varepsilon \sigma \cdot T_4 \quad (5)$$

Onde:

ε é a emissividade.

A taxa na qual a radiação é absorvida, por unidade da área da superfície, pode ser calculada pela propriedade radiante da superfície. Conhecida como absorvância mostrada na Equação 6 (INCROPERA, 2007).

$$G_{abs} = \alpha G \quad (6)$$

2.4 Ciclos de Refrigeração

Refrigeração é o processo de resfriar um determinado ambiente de forma controlada, tanto para viabilizar processos, como para processar e conservar produtos ou efetuar a climatização de espaços para conforto térmico. Para diminuir a temperatura, é necessário retirar energia térmica de um determinado corpo ou meio (SILVA e SILVA, 2007).

Através de um ciclo termodinâmico, o calor é extraído do ambiente a ser resfriado e é enviado para ambiente externo. No processo de refrigeração, o calor não é destruído, apenas é “transferido”. Na indústria alimentar o método de refrigeração é utilizado para retardar o processo de degradação dos alimentos. É nesta área onde as aplicações da refrigeração são mais complexas, pois cada alimento em fase de conservação necessita de temperaturas diferentes. Existem alimentos que necessitam de refrigeração no seu processo de produção como sendo os queijos, bebidas, pão, entre outros (SILVA e SILVA, 2007).

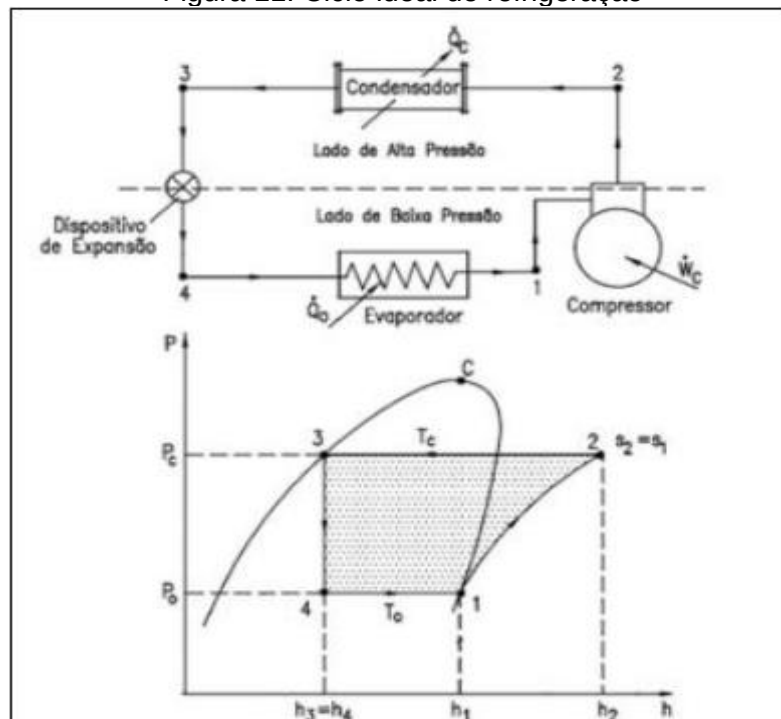
2.4.1 Ciclo ideal de refrigeração à vapor

Um ciclo térmico real qualquer deveria ter para comparação o ciclo de CARNOT, por ser este o ciclo de maior rendimento térmico possível. Entretanto, dado as peculiaridades do ciclo de refrigeração por compressão de vapor, define-se outro ciclo que é chamado de ciclo teórico, no qual os processos são mais próximos aos do ciclo real e, portanto, torna-se mais fácil comparar o ciclo real com este ciclo teórico (existem vários ciclos termodinâmicos ideais, diferentes do ciclo de Carnot, como o ciclo ideal de Rankine, dos sistemas de potência a vapor, o ciclo padrão ar Otto, para os motores de combustão interna a gasolina e álcool, o ciclo padrão ar Brayton, das turbinas a gás, etc). Este ciclo teórico ideal é aquele que terá melhor performance operando nas mesmas condições do ciclo real (STOECKER e JARBADO, 2002).

A Figura 11 mostra um esquema básico de um sistema de refrigeração por compressão de vapor com seus principais componentes, e o seu respectivo ciclo teórico construído sobre um diagrama de Mollier, no plano P-h. Os equipamentos esquematizados na Figura representam, genericamente, qualquer dispositivo capaz de realizar os respectivos processos específicos indicados. Os processos termodinâmicos que constituem o ciclo teórico em seus respectivos equipamentos

são: (STOECKER e JARBADO, 2002).

Figura 11: Ciclo ideal de refrigeração



Fonte: Silva e Silva, 2007.

- Processo 1-2: nesse processo ocorre a compressão do fluido refrigerante, onde ele entra no compressor na forma de gás e com uma pressão baixa vinda do evaporador e sai a uma pressão alta indo para o condensador sendo um processo isentrópico (entropia constante) como é mostrado na figura (SILVA e SILVA, 2007).
- Processo 2-3: Ao sair do compressor a uma pressão alta, o fluido segue para o condensador onde sua pressão permanece constante durante o processo e sofre um resfriamento para que o calor do refrigerante seja retirado mudando seu estado de gás superaquecido para líquido saturado (SILVA e SILVA, 2007).
- Processo 3-4: O líquido saturado vai para a válvula de expansão, onde sofre uma expansão indo da pressão de condensação para a pressão de vaporização, sendo um processo isentrópico e irreversível, se tornando vapor úmido (SILVA e SILVA, 2007).
- Processo 4-1: Nesse o refrigerante volta para o evaporador onde recebe calor a uma pressão constante através do trocador de calor, sofrendo uma mudança de estado de vapor úmido para vapor saturado seco

(SILVA e SILVA, 2007).

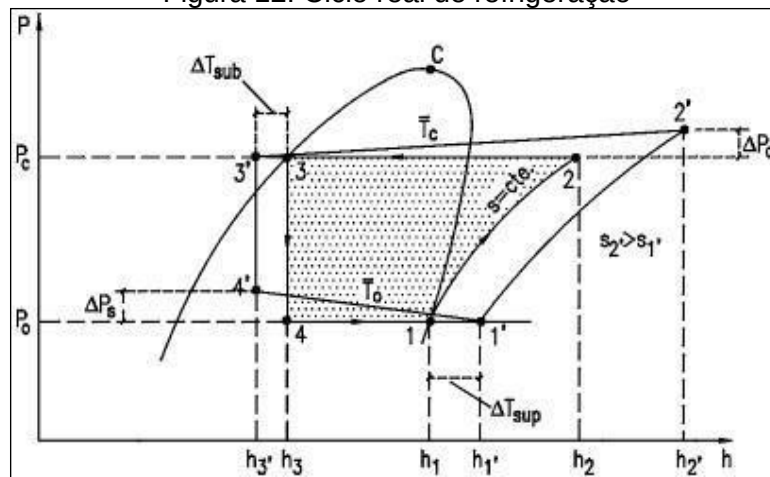
2.4.2 Ciclo real de refrigeração à vapor

No ciclo real, as principais diferenças ocorrem na mudança de pressão durante os processos do condensador e do evaporador, o compressor deixa de ser isoentrópico (STOECKER e JARBADO, 2002).

Nesse ciclo também ocorre um sub-resfriamento na saída do condensador e um superaquecimento na entrada do compressor, para que evite a entrada de líquido no compressor. Porém, devido a esse superaquecimento e por ser um processo politrópico na parte da compressão, a temperatura de descarga do compressor pode atingir altos níveis o que prejudica aos óleos lubrificantes usados no compressor, sendo assim a temperatura máxima permitida é 130°C, sendo necessário o resfriamento do cabeçote dos compressores (STOECKER e JARBADO, 2002).

A figura 12 ilustra o gráfico do ciclo de refrigeração a vapor de acordo com seus componentes, fazendo uma comparação entre o ciclo real e o ciclo ideal.

Figura 12: Ciclo real de refrigeração



Fonte: Silva e Silva, 2007.

2.5 Componentes de um ar condicionado

Para um bom funcionamento, o sistema de refrigeração depende do desempenho apropriado de seus elementos de refrigeração, que são montados sempre nesta ordem: compressor, condensador, filtro secador, dispositivo de expansão (tubo capilar ou válvula de expansão), evaporador e, fechando-se o ciclo, compressor novamente. Com esses equipamentos adequadamente instalados e

conectados, é colocado no interior do circuito, um gás refrigerante em circulação que deve ser o correto e estar em quantidades adequadas para se evitar danos (SILVA e SILVA, 2007).

Os principais componentes de refrigeração são:

- Compressor;
- Evaporador;
- Condensador;
- Válvula de expansão;
- Fluido Refrigerante;

2.5.1 Compressor

O compressor é um componente essencial, tendo como função absorver o fluido vindo do evaporador no estado de vapor à baixa pressão e comprimí-lo à alta pressão e temperatura para que o refrigerante fique no estado ideal para entrar no condensador. Os tipos de compressores que são mais comuns em refrigeração são os centrífugos e os volumétricos (SILVA, 2004).

Os compressores volumétricos são os alternativos, rotativos, scroll e de parafuso, onde a compressão é feita através da redução do volume do fluido refrigerante. Já nos centrífugos o fluido refrigerante que chega na forma de vapor superaquecido é acelerado pro meio de pás de um motor, ganhando pressão na passagem pela voluta do compressor centrífugo, onde essa velocidade elevada se transforma em pressão (SILVA, 2004).

A realização da escolha do tipo de compressor é feita de acordo com a capacidade térmica da instalação e do fluido frigorígeno a ser usado (COSTA, 2011).

Os modelos de compressores mais usado em sistema de refrigeração são os alternativos e os rotativos.

- Os compressores alternativos são mais indicados para o caso de fluidos frigorígeno de calor de vaporização volumétrico ry elevado, ex: NH₃, F-12, F-13, F- 22, CH₃Cl, SO₂, CO₂, N₂O, C₂H₄ e C₂H₆, etc. Esses dispositivos geralmente são usados em instalações de grande e médio porte (COSTA, 2011).

Esse tipo de compressor possui o “pistão” que executa movimentos alternados

de sobe e desce. O fluido refrigerante entra na câmara de compressão pela linha de sucção no momento do curso de descida do pistão, sendo comprimido e forçado para a linha de descarga na subida do pistão (SILVA e SILVA, 2007).

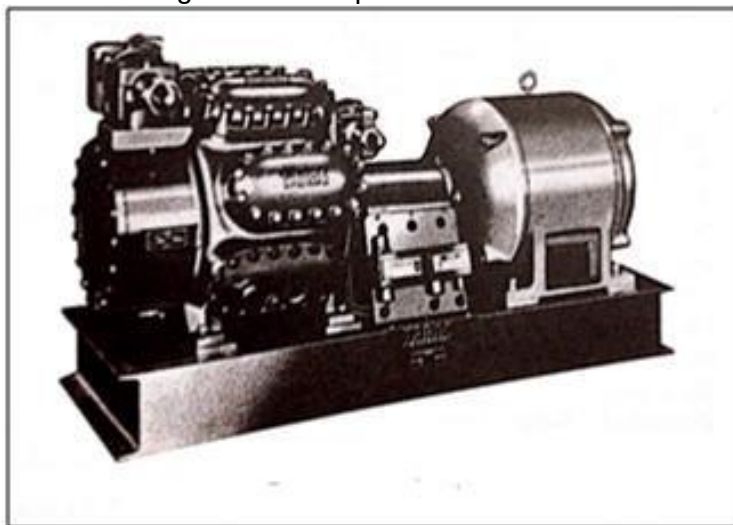
Quando o pistão está em seu ponto inferior, a válvula de sucção é aberta e a de descarga fechada, e nesse momento a pressão no interior do cilindro é menor do que na linha de sucção permitindo a entrada do fluido (SILVA e SILVA, 2007).

Quando o pistão está em seu ponto superior, a válvula de sucção fecha e a de escape abre, a pressão no interior do cilindro fica maior que na linha de descarga, então o fluido sai do interior da câmara de compressão (SILVA e SILVA, 2007).

O movimento do pistão se dá pelo giro do Virabrequim com o auxílio da Biela, daí o nome alternativo (SILVA e SILVA, 2007).

A figura 13 mostra um compressor do tipo alternativo (Trane) usado nos sistemas de refrigeração.

Figura 13: Compressor alternativo



Fonte: MILLER E MILLER, 2008.

- Os compressores rotativos são escolhidos em caso de fluido refrigerante de calor de vaporização volumétrico médio, como exemplo F-144, F-21, C₂H₅Cl, etc., podendo também ser usado em compressores de baixa pressão (booster) nas grandes instalações de compressão por estágios, tendo como fluido utilizado nesses casos o NH₃ ou F-22 (COSTA, 2011).

Esse tipo de compressor é muito utilizado em condicionadores de ar do tipo Janela e em bombas de Vácuo. Nos rotativos para condicionadores de ar, o “Rolete” no interior do cilindro é responsável por fazer a sucção e descarga, através do

movimento realizado por um eixo excêntrico auxiliado por uma “Lâmina Divisória”, criando uma zona de baixa pressão e outra de alta pressão. Nesse tipo de equipamento a carcaça possui uma temperatura muito alta se comparado com os alternativos (SILVA e SILVA, 2007).

A figura 14 mostra um motocompressor Hermético do tipo rotativo.

Figura 14: Compressor rotativo

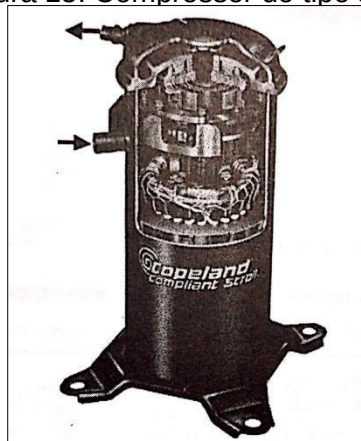


Fonte: SILVA, 2004.

- O motocompressor scroll possui um sistema de dois caracóis, onde um é fixo e o outro é móvel, a parte móvel executa um movimento orbital dentro do fixo criando bolsas de gás que vão diminuindo de volume e aumentando a pressão do refrigerante que é descarregado para o condensador, simultaneamente são formados dois bolsões de gás em baixa pressão que efetuam a sucção do evaporador (SILVA e SILVA, 2007).

A figura 15 mostra um motocompressor Hermético do tipo scroll.

Figura 15: Compressor do tipo scroll



Fonte: SILVA, 2004.

- O compressor do tipo parafuso recebe essa definição devido ao fato de que seus principais componentes (Rotores ou Fusos) parecerem grandes roscas de parafuso (COSTA, 2011).

Atualmente esse componente é amplamente utilizado em refrigeração industrial, eles são conceitualmente simples, e possuem uma geometria de difícil visualização (SILVA e SILVA, 2007).

Os compressores do tipo parafuso são máquinas de deslocamento positivo e com dois rotores acoplados que são montados em mancais para fixar suas posições na câmara de trabalho possuindo uma tolerância estreita em relação à cavidade cilíndrica. O rotor fêmea possui um perfil côncavo enquanto o rotor macho tem um perfil convexo. Esses rotores possuem uma forma semelhante a uma rosca sem-fim, tendo diferentes números de lóbulos nos rotores fêmea e macho. O dispositivo de acionamento é geralmente conectado ao rotor macho que aciona o rotor fêmea por meio de uma película de óleo (SILVA e SILVA, 2007).

Esse tipo de equipamento possui como vantagem um menor número de peças sujeitas ao desgaste, uma relativa estabilidade quanto ao efeito de aspiração de líquido e a obtenção de elevada relação de compressão em um único estágio. Neste compressor, a compressão é realizada em três processos diferentes que são: sucção, compressão e descarga (SILVA, 2004).

No compressor o vapor é aspirado enchendo o espaço entre os dois fusos. Quando os rotores giram, o espaço interlobular desloca-se acima do orifício de entrada e o veda. Com a rotação contínua, o gás possui seu espaço progressivamente reduzido, executando a compressão. No final do processo de compressão, o espaço interlobular fica exposto ao orifício de saída fazendo com que o gás seja descarregado (SILVA, 2004).

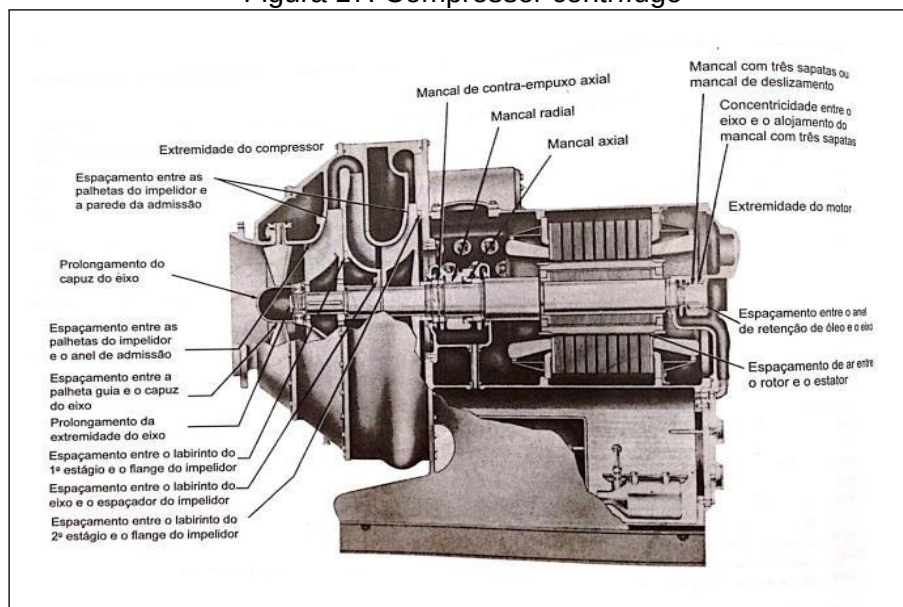
A figura 16 mostra um compressor do tipo parafuso.

Figura 16: Compressor tipo parafuso

Fonte: STOECKER e JABARDO, 2002.

-

Figura 17: Compressor centrífugo



Fonte: MILLER e MILLER, 2008.

2.5.2 Evaporador

O evaporador é um trocador de calor cuja função é retirar o calor do ambiente que será refrigerado e transferi-lo para o fluido refrigerante (sistema de expansão direta) ou indiretamente através da passagem pela serpentina de água gelada (sistema de expansão indireta). No sistema de expansão indireta a produção do “Frio” é centralizada em uma casa de máquinas, onde está o chiller (resfriador), sendo que a água que é gelada na casa de máquinas e distribuída através de tubulações hidráulicas (SILVA, 2004).

Esses equipamentos são constituídos de cobre, latão e alumínio quando trabalham com fluidos refrigerantes convencionais, no caso do uso de amônia eles são feitos de aço. Os tubos dos evaporadores podem ser de dois tipos, lisos ou montados com aletas internas e externas para que haja uma maior troca de calor (SILVA, 2004).

Os evaporadores podem ser usados para resfriamento de líquido ou de ar. Para resfriamento envolvendo líquidos os mais utilizados são os do tipo de serpentina e casco (carcaça), tubo e casco e de placas. Quando a finalidade é o resfriamento de ar, eles podem ser principalmente do tipo serpentinas aletadas e forçadores de ar. Os evaporadores de placas ocupam menor espaço e tem uma maior facilidade de manutenção, devido a esse fato, atualmente eles têm sido cada vez mais utilizados

(MILLER e MILLER, 2008).

Esse componente pode ser também do tipo seco, inundado e semi-inundado. Nos evaporadores do tipo seco, a maior parte do equipamento contém vapor refrigerante e o fluido se torna vapor ao passar pelos tubos do evaporador (MILLER e MILLER, 2008).

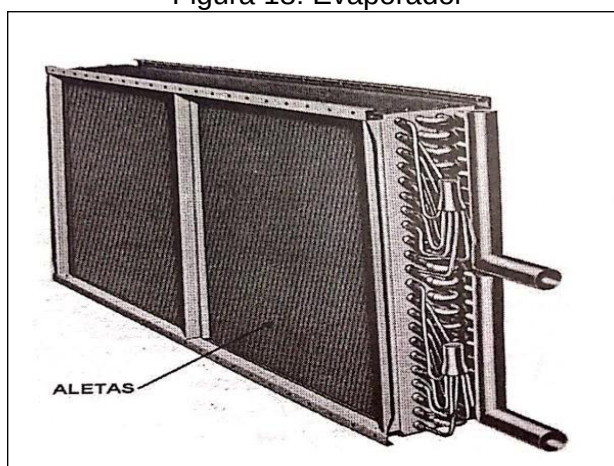
A válvula de expansão controla a quantidade de fluido refrigerante de maneira que não haja líquido na saída do evaporado e mantenha um determinado grau de superaquecimento (SILVA, 2004).

No caso de evaporadores semi-inundados ainda há líquido na saída do evaporador, já no caso dos inundados, a maior parte carcaça contem refrigerante na forma líquida. Quando o calor é absorvido do meio interno para que seja resfriado, ocorre a formação de bolhas de vapor no meio liquido devida a ebulição, essas bolhas avançam pela linha arrastando parte do líquido e do vapor, porem só o vapor e admitido no compressor, com isso o líquido retorna ao evaporador junto com o líquido de entrada. Os evaporadores inundados são adotados principalmente nas instalações industriais de amônia, devido ao fato de apresentarem baixa perda de carga na sucção, baixa possibilidade de arrasto de sujeira e garantem a saída de vapor saturado seco (SILVA, 2004).

Nos evaporadores do tipo tubo e carcaça, o fluido refrigerante troca calor sem que haja uma mudança em sua temperatura, devido ao fato dele estar em processo de vaporização. Quando o processo de trocas térmicas termina, tem-se o fluido quente com temperatura menor que na entrada e o fluido refrigerante no estado de vapor (COSTA, 2011).

A figura 18 mostra um evaporador, que possui sua construção com aletas.

Figura 18: Evaporador



Fonte: SILVA e SILVA, 2007.

2.5.3 Condensador

Os condensadores são equipamentos destinados a dissipar para o ambiente externo o calor absorvido pelo fluido refrigerante no evaporador e gerado no compressor. Esse dispositivo elimina o calor para outro fluido que pode ser o ar ou a água, transferindo de um fluido com temperatura maior para outro com temperatura menor. Se o calor do refrigerante for transferido para o ar, o condensador é a ar, se for transferido para água é um condensador a água, se caso seja transferido para os dois tipos o condensador é chamado de condensador evaporativo (MILLER e MILLER, 2008).

- Os condensadores a água geralmente são usados em instalações de grande porte e são utilizados em conjunto com uma torre de arrefecimento. Esse dispositivo tem como função retirar o calor do fluido refrigerante, vindos do evaporador e do processo de compressão, e transferi-lo para a água que está com uma temperatura menor que o refrigerante em estado de vapor. A circulação da água pelo condensador e pela torre de resfriamento é feita através de bombas de água de condensação (SILVA e SILVA, 2007).

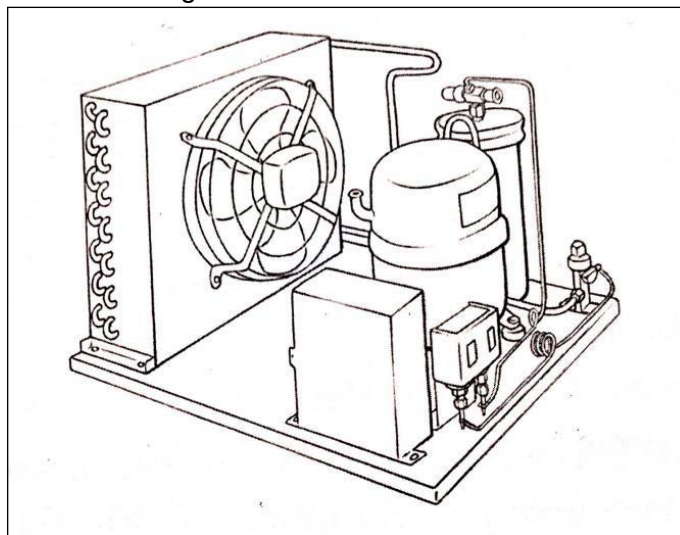
Os tipos mais comuns de condensadores a água são os de tubo e carcaça, casco serpentina e duplo tubo. No condensador de duplo tubo a água circula em contra-corrente por um tubo interno trocando calor com fluido refrigerante. Os de tubo e carcaça, ou multitubular fechado, são utilizados em projetos de grande carga térmica, principalmente chillers. São formados por um tubo cilíndrico fechado nas extremidades e que possuem uma bateria de tubos em que passa a água de resfriamento, indo de uma ponta a outra da carcaça. O fluido refrigerante entra em contato com os tubos de resfriamento e vai se condensando e se acumulando na parte inferior do condensador, transformando-se para o estado líquido (SILVA, 2004).

- Os condensadores a ar são mais utilizados em residências domésticas onde funcionam por convecção natural ou em refrigeração comercial onde geralmente predomina a convecção forçada por meio de motoventilador e utilizam aletas para aumentar a eficiência da troca de calor. O processo de resfriamento do fluido ocorre inicialmente através da troca de calor sensível, onde o fluido reduz sua temperatura até a temperatura de saturação para a pressão em que se encontra, dando

início a condensação do refrigerante (SILVA, 2004).

A figura 19 mostra um modelo de unidade condensadora à ar que são equipamentos destinados a libera o calor absorvido no ciclo de refrigeração.

Figura 19: Condensadora à ar

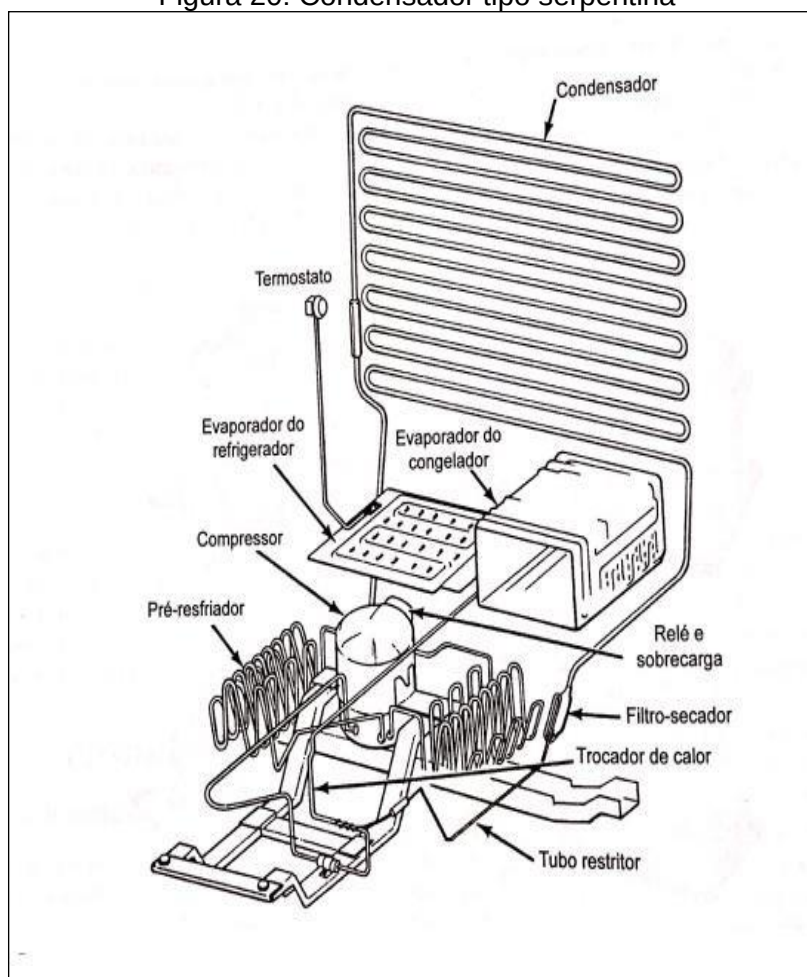


Fonte: Silva, 2004.

- O condensador evaporativo é formado por uma torre de resfriamento de água pelo sistema de ar forçado, junto com um condensador formado por uma serpentina de tubo liso. Neste equipamento a superfície do condensador é umidificada através de pulverizadores de água, no mesmo instante em que ocorre a pulverização há também um corrente de ar forçada pelo motoventilador. Esse processo tem como finalidade ativar a evaporação da água iniciada no processo de condensação do fluido refrigerante que serve como fonte de calor. Os condensadores evaporativos são mais utilizados em sistemas de refrigeração industriais (SILVA e SILVA, 2007).

A figura 20 mostra um modelo de um condensador do tipo serpentina utilizado em refrigeração domestica.

Figura 20: Condensador tipo serpentina



Fonte: MILLER e MILLER, 2008.

2.5.4 Dispositivos de expansão

Esses dispositivos têm como função basicamente reduzir a pressão e controlar o fluxo do fluido refrigerante liquefeito no condensador para o evaporador.

Em sistemas de refrigeração e climatização comercial o mais usado é a válvula de expansão termostática (MILLER e MILLER, 2008).

O equipamento de expansão pode ser a Válvula de expansão automática, a válvula de expansão termostática ou o tubo capilar, eles dificultam a passagem do refrigerante em estado líquido que vem do condensador para o evaporador, essa restrição faz com que haja um aumento de pressão no condensador e uma queda brusca no evaporador (SILVA e SILVA, 2007).

Dos dispositivos citados acima, somente a Válvula de expansão faz regulação ou dosagem do fluido líquido para o evaporador. Essa dosagem é feita através do bulbo sensor da Válvula, que percebe a temperatura do fluido refrigerante no estado

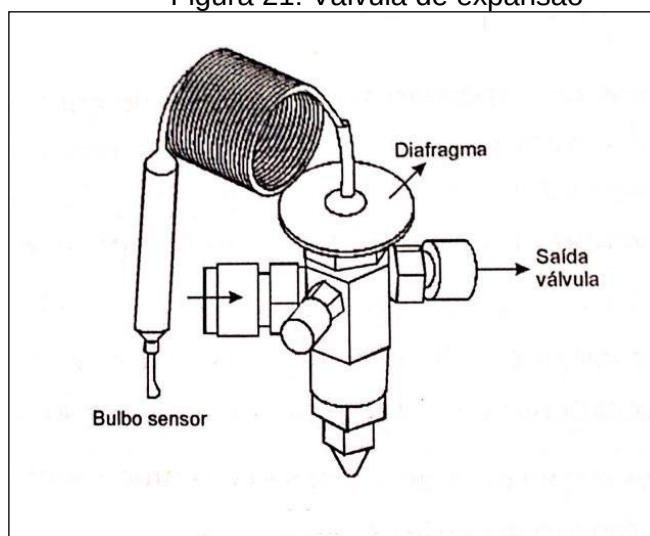
de vapor na saída do evaporador e faz a regulação de acordo com essa temperatura (SILVA e SILVA, 2007).

Desses dispositivos o mais simples é o tubo capilar. Nele o fluido refrigerante perde pressão devido ao atrito com as paredes internas do tubo, essas paredes geralmente possuem diâmetros próximos a 0,6mm. O comprimento do tubo capilar vai depender diretamente da relação de compressão e do tipo de fluido utilizado no sistema (SILVA, 2004).

A válvula de expansão automática ou válvula de expansão pressostática, pode ter como elemento de comando um diafragma ou membrana, ou um fole de fechamento hermético com o corpo da válvula. Neste equipamento a parte inferior do diafragma fica submetida à pressão interna do evaporador e a parte superior do diafragma fica submetida a uma ação constante da pressão atmosférica, fazendo com que a abertura e fechamento da válvula sejam regulados pela diferença entre as duas pressões. No momento em que o compressor se encontra parado, a mola da válvula empurra o tucho na sede que fecha a passagem do refrigerante. De acordo com que a pressão no interior vai diminuindo, devido à atuação do compressor, decresce, também, a pressão contra a parte interna do diafragma e a mola da válvula faz com que abra o tucho do diafragma para que se mantenha constante a pressão de aspiração (SILVA, 2004).

A figura 21 mostra uma válvula de expansão termostática Danfoss tipo TV 5 a 13 com filtro.

Figura 21: Válvula de expansão



Fonte: COSTA, 2011.

2.5.5 Fluido refrigerante

Os fluidos refrigerantes são os principais componentes do sistema frigorígeno, sem eles não haveria a troca de calor apesar de todos os outros estarem em perfeito funcionamento. Essas substâncias são usadas como veículos térmicos no ciclo de refrigeração, com a função de transferir o calor do lado interior do ambiente refrigerado para o lado exterior (STOECKER e JABARDO, 2002).

Os primeiros refrigerantes a serem usados foram NH_3 , CO_2 , SO_2 e CH_3Cl , porém com a necessidade de atingir uma temperatura próxima a -75°C , esses fluidos foram substituídos por N_2O , C_2H_6 e até mesmo o propano C_3H_8 , apesar do perigo de explosão (COSTA, 2011).

De acordo com o crescimento da indústria frigorígena, com novos equipamentos sendo projetados, tornou-se cada vez mais necessário o desenvolvimento de novos fluidos refrigerantes (COSTA, 2011).

Com a chegada da refrigeração doméstica e o uso de compressores rotativos e centrífugos, foram realizadas novas pesquisas que levaram à descoberta dos hidrocarbonetos fluorados, sintetizados a partir dos hidrocarbonetos da série metano e etano, que por sua excelência são usados até atualmente na maioria das interações de refrigeração. Um dos fluidos mais utilizados nos tempos atuais é um refrigerante especial designado por F-502 ou R-502, que resulta na mistura azeotrópica do C_2ClF_5 com o CHClF_2 (COSTA, 2011).

Para que o fluido frigorígeno tenha um bom desempenho, ele deve fazer com que o ciclo de refrigeração real se aproxime o Máximo possível do ideal de Carnot (SILVA, 2004).

2.6 Conforto térmico

Um dos principais motivos de se refrigerar um ambiente, controlando a pureza temperatura e umidade local é para atingir o conforto térmico dos ocupantes. Conforto térmico é um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve uma pessoa. Como essa sensação é subjetiva dependente de aspectos biológicos, físicos e emocionais, não é possível satisfazer a todos os ocupantes do recinto com uma condição térmica específica, sendo necessário determinar as condições ambientais que atinja o conforto térmico para a maioria das pessoas

presentes no local refrigerado (SILVA e SILVA, 2007).

O conforto térmico de um ambiente torna-se necessário, pois em um local bem climatizado as pessoas tem melhores condições de vida e de saúde devido ao fato de seu organismo funcionar sem ser submetido a estresse ou fadiga ocasionados por um desconforto térmico. Sendo assim a arquitetura dos ambientes deve oferecer condições de conforto térmicos compatíveis ao corpo humano como uma de suas funções (FROTA e SCHIFFER, 2007).

A sensação de conforto térmico depende da facilidade com que o individuo estabelece um balanço térmico com o local refrigerado afim de a temperatura corporal interna em 37°C, sendo que mesmo em equilíbrio térmico pode ser que ainda sim haja um desconforto devido a algum outro fator como, por exemplo, a presença de um campo assimétrico de radiação (SILVA e SILVA, 2007).

Os fatores que afetam a sensação de conforto térmico podem ser divididos em individuais e ambientais. Sendo o tipo de atividades e vestuário as principais variáveis individuais, e temperatura radiante, temperatura de bulbo seco, velocidade relativa do ar e umidade relativa do ar as principais variáveis ambientais (SILVA e SILVA, 2007).

As condições de conforto são determinadas pela temperatura e umidade do ar, sendo considerada uma temperatura e umidade relativa de aproximadamente 23 a 25 °C, e 65% para o verão e 20 a 22 °C, e 65 % para o inverno, levando em conta nos 2 casos a permanencia dos indivíduos no ambiente, assim se evita o choque térmico da entrada e saída do local com condicionamento de ar (CREDER, 2004).

2.7 Normas

As normas usadas neste projeto de acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) são:

- NBR 16401-1: 2008 – Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários – Parte 1: Projetos e Instalações. Descrição: Estabelece os parâmetros básicos e os requisitos mínimos de projeto para sistemas de ar condicionado, centrais e unitários.
- NBR 16401-2: 2008– Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários – Parte 2: Parâmetros de Conforto Térmico. Descrição: Especifica os parâmetros do ambiente interno que proporcionem conforto térmico aos ocupantes de recintos providos de ar

condicionado.

- NBR 16401-3: 2008 – Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários – Parte 3: Qualidade do Ar Interior. Descrição: Especifica os parâmetros básicos e os requisitos mínimos para sistemas de ar condicionado, visando à obtenção de qualidade aceitável de ar interior para conforto.
- NBR 5410: 2004 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Descrição: Estabelece as condições que as instalações elétricas de baixa tensão devem satisfazer a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o dimensionamento e seleção adequada dos sistema de ar condicionado *Split* é descrita neste capítulo.

3.1 Análise do edifício e clima local

O edifício está localizado na esquina entre a Avenida Agenor Tomé e a Rua Zilma Meireles, no bairro Quincas Machado, em Guaçuí-ES, CEP. 29560-000.

A construção é composta por 3 andares, o objetivo de estudo desse trabalho é a academia, que está cotida no andar central. As características do edifício são de paredes externas claras e janelas com toldos. O apêndice A pela figura 28 apresenta a vista superior da academia. A tabela 21 do apêndice A apresenta a indicação da área que será climatizada.

O verão local é caracterizado por temperaturas elevadas e alta umidade. Na cidade de Guaçuí, o mês mais quente é o mês de fevereiro, quando a temperatura média é de 30° C com 85% de umidade relativa. O objetivo da climatização é criar um ambiente interno com 22°C de temperatura e 50% de umidade relativa.

3.2 Cálculo da carga térmica

A carga térmica é calculada utilizando os valores da quantidade de calor sensível e latente, expressas em BTU/h, ou kcal/h, que deve ser removida ou adicionada no ambiente para atingir as condições de conforto térmico desejadas.

A carga térmica pode ser adicionada no ambiente a ser condicionado por:

- Condução;
- Insolação;
- Pessoas;
- Equipamentos;
- Renovações de ar (infiltrações e ventilação).

Para determinar a carga térmica a ser retirada de cada ambiente, foram utilizadas folhas de cálculo de carga térmica, que são nada mais que planilhas que contêm dados relativos ao ganho de calor pelas condições do ambiente a ser

calculado. Essa seqüência de cálculo foi retirada do livro Instalações de Ar Condicionado, CREDER (2004).

A seguir serão apresentados fatores que influenciaram a determinação final da carga térmica para o dimensionamento do sistema de ar condicionado.

3.2.1 Cálculo da carga térmica por condução

Para um projeto prático tem-se que as paredes não são homogêneas, ou seja, não consistem, apenas, de um único material. Logo, para avaliar a situação do objeto de estudo desse trabalho, levamos em consideração uma parede construída com tijolos, massa e isolamento.

A equação 7 determina a condutância global, o que significa a quantidade de calor transferido do ar da superfície expresso em kcal/h por unidade de área (m²) em uma determinada variação de temperatura (°C) (CREDER, 2004):

$$Q = A \cdot h \cdot \Delta t \quad (7)$$

Onde:

Q = fluxo de calor (kcal/h);

A = Área (m²)

h = condutância da superfície (kcal/h.m².°C);

Δt = Diferença de temperatura (°C).

Os valores de h dependem das condições de rugosidade da superfície, cor da superfície e da velocidade do vento, como apresenta a tabela 1.

Tabela 1: Valores de h para velocidade do vento.

Ar parado	7,96 Kcal/h.m ² .°C
Ar a 3,3 m/s	19,5 Kcal/h.m ² .°C
Ar a 6,7 km/h	29,3 Kcal/h.m ² .°C

Fonte: ABNT NBR 16401, 2008

Nos cálculos da carga térmica do ar condicionado, usa-se um coeficiente U , mais fácil de ser obtido, medindo-se a temperatura do ar em ambos os lados da superfície. Esse coeficiente é chamado coeficiente global de transmissão de calor (CREDER, 2004).

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta t \quad (8)$$

Onde:

Q = fluxo de calor (kcal/h);

A = Área (m²)

U = coeficiente global de transmissão de calor (kcal/h.m².°C);

Δt = Diferença de temperatura (°C).

Quando se usam vários materiais nas paredes que separam os ambientes, para cálculos mais precisos utilizam-se as resistências que cada material opõe ao fluxo (CREDER, 2004).

Essas resistências são os inversos das condutividades e condutâncias e são somadas do mesmo modo que resistências em séries de um circuito elétrico. Tem-se na tabela 1 os coeficientes globais de transmissão de calor u em kcal/h.m² para janelas e paredes.

$$U = \frac{1}{R_{total}} \quad (9)$$

Onde:

U = coeficiente global de transmissão de calor (kcal/h.m².°C);

R_{total} = Somatório do inversos das condutividades e condutâncias.

Sento R_{total} , determina-se a equação 4 com uso da tabela 2, com o intuito obter os coeficientes de transmissão de calor dos materiais de construção.

$$R_{total} = \frac{1}{h} + \frac{1}{C} + \frac{L}{K} + \frac{1}{C} + \frac{1}{h} \quad (10)$$

Onde:

C = condutância gerada pelo emboço da parede (kcal/h.m².°C);

K = condutividade gerada pelo tipo de tijolo (kcal/h.m².°C);

L = largura do tijolo (m);

h = condutância superficial (kcal/h .m² .°C).

A tabela 2 apresenta os coeficientes de transmissão de calor dos materiais de construção mais utilizados.

Tabela 2: Coeficiente de transmissão de calor dos materiais de construção.

MATERIAIS	CONDUTIVIDADE K		CONDUTÂNCIA C	
	BTU. in/h. ft ² . °F	Kcal/h . m . °C	BTU. in/h. ft ² . °F	Kcal/h . m ² . °C
1 - Acabamentos				
Cimento asbestos	4,00	0,496		
Gesso ½"			2,25	10,99
Lambris	0,80	0,09		
Lambris ¾"			1,07	5,22
Fibra de madeira	1,40	0,173		
Emboço ou reboco (2cm)			0,49	2,39
2 - Alvenaria				
Lã mineral (vidro ou rocha)	0,27	0,03		
Vermiculite	0,46	0,05		
Concreto simples	5,00	0,62		
Massa de cimento com agregados	1,70	0,21		
Concreto com areia e pedra	12,00	1,48		
Estuque	5,00	0,62		
Tijolo comum (meia vez)	5,00	0,62		
Tijolo comum (uma vez)	9,00	1,11		
Tijolo de concreto furado de 10cm	1,40	0,17		
Tijolo de concreto furado de 20cm	0,90	0,11		
Ladrilho ou cerâmica	0,90	0,11		
Alvenaria de pedra	12,50	1,55		
3 - Isolamento				
Fibras e lãs minerais (vidro ou rocha)	0,27	0,30		
Fibra de madeira	0,25	0,03		
Vidro celular	0,39	0,04		
Cortiça	0,27	0,03		
Fibra de vidro	0,25	0,03		
Isoflex		0,039		
4 - Argamassas				
Nata de cimento com areia	5,00	0,62		
Nata de gesso com areia	5,60	0,69		
Agregado de vermiculite	1,70	0,21		
5 - Coberturas				
Placa de agreg. de asfalto	6,50	0,80		
Teto com 10cm	3,00	0,37		
6 – Madeiras				
De lei (cedro, canela, etc)	1,10	0,13		
Pinho	0,80	0,09		

Fonte: ABNT NBR 16401 adaptado, 2008

3.2.2 Cálculo da carga térmica por insolação

A mais poderosa energia que a superfície da Terra recebe do universo é a energia solar, que já está sendo aproveitada pelo homem como fonte térmica. Essa energia é, quase sempre, a responsável pela maior parcela da carga térmica nos cálculos do ar condicionado, em geral como radiação e convecção (CREDER, 2004).

Por absorção, a energia de radiação solar pode ser introduzida nos recintos em maior quantidade tanto quanto menos brilhante for a superfície refletora. Assim, tem-se, a seguir, a tabela 3, que apresenta o percentual de energia radiante em função da cor (CREDER, 2004):

Tabela 3: Percentual de Energia Radiante em função da cor

	CALOR REFLETIDO	CALOR ABSORVIDO
Alumínio Polido	72%	28%
Vermelho-Claro	37%	63%
Preto	6%	94%

Fonte: Creder, 2004

É evidente que este percentual é também uma função da rugosidade da superfície. Assim, a temperatura dos tetos e paredes depende dos seguintes fatores:

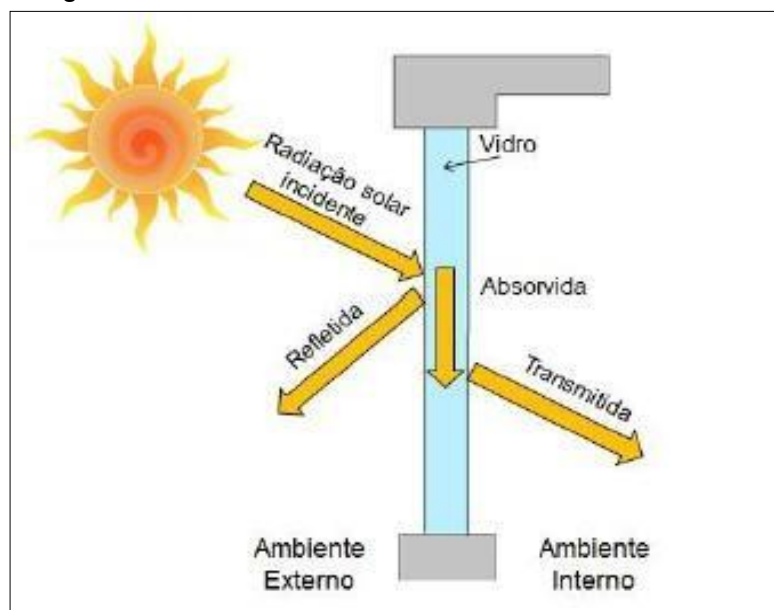
- Coordenadas geográficas do local (latitude);
- Inclinação dos raios do sol (depende da época do ano e da hora considerada);
- Tipo da construção;
- Cor e rugosidade da superfície;
- Refletância da superfície.

A energia radiante oriunda do Sol incidente em uma superfície transparente subdivide-se em três partes (CREDER, 2004):

- Uma que é refletida q_1 ;
- Uma que é absorvida pelo vidro q_2 ;
- Uma que atravessa o vidro q_3 .

A figura 22 mostra a distribuição da radiação solar sobre o vidro.

Figura 22: Transmissão de calor solar Através de Vidro.



Fonte: CREDER, 2004.

A parcela q_3 , que penetra no recinto, é a que vai nos interessar nos cálculos da carga térmica. Utiliza-se a equação 11 para o cálculo de de transmissão de calor por superfícies transparentes.

$$Q_s = f \cdot A \cdot \varphi_1 \quad (11)$$

Onde:

f = coeficiente de transmissão de calor;

A = Área da janela (m^2);

φ_1 = Fator de proteção.

Para o uso adequado da equação 11, a tabela 23 do apêndice A apresenta os principais fatores de coeficiente de transmissão de calor através de fechamento transparente, janelas, paredes de vidro, etc.

As tabelas 4 e 5 apresentam, respectivamente, o fator multiplicador de acordo com a borda do fechamento transparente e fator de proteção usada em janelas.

Tabela 4: Tipo de borda do fechamento transparente

BORDA	φ_1
Borda de madeira	$\varphi_1 = \varphi$
Borda metálica	$\varphi_1 = 1,15 \cdot \varphi$

Fonte: Creder, 2004.

Tabela 5: Tipo de proteção do fechamento transparente.

PROTEÇÃO DO FECHAMENTO	ϕ
Toldos e persianas externas	0,20
Persianas internas e refletoras	0,66
Cortinas internas branca (opaca)	0,50
Sem proteção ou cortina escura	1,0

Fonte: Creder, 2004.

As paredes, lajes e telhados são conhecidas como superfícies opacas e transmitem a energia para o interior dos ambientes obedecendo a equação 12:

$$Q = A.U. [(t_e - t_i) + \Delta_t] \quad (12)$$

Onde:

A = área da superfície opaca (m^2);

U = coeficiente global de transmissão de calor ($kcal/h.m^2.^{\circ}C$);

t_e = temperatura do exterior ($^{\circ}C$);

t_i = temperatura do interior ($^{\circ}C$);

Δ_t = acréscimo ao diferencial de temperatura.

O acréscimo de temperatura pode ser adquirido de acordo com a disposição da parede e a cor dela, conforme demonstra as tabelas 6 e 7.

Tabela 6: Gradiente de temperatura em função das variáveis relativas à própria temperatura.

Valores de Δt para Superfícies Opacas								
Cores: Preto, Cinza-Escuro								
Direção da Face								
Hora	SE	E	NE	N	NO	O	SO	Telhado
8	3.3	3.9						
9	14.5	17.8	8.3					5
10	17.7	24.4	14.4					16.1
11	13.3	22.2	15.6					25.5
12	6.7	15	13.4	0.5				32.7
13		6.1	7.8	2.8				36.7
14			1.1	3.3	1.1			38.3
15				2.8	7.8	6.1		32.8
16				0.5	13.3	15		32.7
17					15.6	22.2	6,64	25.5
18					14.5	24.5	17.7	16.1
19					8.3	17.8	14.5	5
20						3.9	3.3	

Fonte: ABNT NBR 16401, 2008

Tabela 7: Gradiente de temperatura em função das variáveis relativa a própria temperatura.

Valores de Δt para Superfícies Opacas								
Cores: Cinza-Claro, Vermelho e Marrom								
Direção da Face								
Hora	SE	E	NE	N	NO	O	SO	Telhado
8	0.5	1.1						
9	7.8	9.4	3.9					1.7
10	10	14.5	8.3					9.4
11	7.6	12.8	8.9					15
12	2.8	8.9	7.4					20
13		2.9	3.9					22.1
14				0.5				23.5
15					3.9	2.8		22.1
16					7.4	8.9	2.8	20
17					8.9	12.8	7.4	15
18					8.3	14.5	10	9.4
19					3.9	9.4	7.8	1.7
20						1.1	0.5	

Fonte: ABNT NBR 16401, 2008.

3.2.3 Cálculo da carga térmica devido às pessoas

Todo ser humano emite calor sensível e latente, que variam conforme esteja o indivíduo em repouso ou em atividade (CREDER, 2004).

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, 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).

Se a temperatura exterior é superior a 37°C, o calor é transferido do exterior para o corpo, e isso provoca a transpiração e em consequência a eliminação de vapor d'água pela respiração, adicionando apenas calor latente ao ar. Se a temperatura exterior é inferior a 15,6°C, a transferência de calor se dá do corpo para o ambiente, porém somente na forma de calor sensível. Entre essas temperaturas externas, ou seja, entre 15,6 e 37°C, o corpo humano emite calor sensível e calor latente ao ambiente, mantendo constante o calor total (CREDER, 2004).

A Tabela 8, baseada na NBR 16401, dá os valores do calor liberado pelas pessoas em função da temperatura e da atividade.

Tabela 8: Calor Liberado pelas Pessoas.

Temperatura Ambiente	Pessoa Sentada ou em Movimento Lento			Pessoa em Exercício Físico Moderado		
	Calor Sensível	Calor Latente	Calor Total	Calor Sensível	Calor Latente	Calor Total
°C	Kcal/h	Kcal/h	Kcal/h	Kcal/h	Kcal/h	Kcal/h
29	45,1	54,9	100	38,1	128	166,1
28	50,2	50,2	100	45,1	121	166,1
27	54,9	45,1	100	51,9	144,1	166,1
26	58	42,1	100	58	108,1	166,1
25	62	38,1	100	64	101,8	166,1
24	66	34	100	72,1	94	166,1
23	69,1	31	100	77,1	89	166,1
22	72,1	28	100	82,2	83,9	166,1
21	75,1	24,9	100	88	78,1	166,1

Fonte: Adaptado CREDER, 2004.

A equação 13, o cálculo leva em consideração o tipo do ambiente a ser climatizado.

$$q = n \cdot q' \quad (13)$$

Onde:

q = carga térmica total devido ao calor latente e ao calor sensível (Kcal/h);

n = número de pessoas no local;

q' = carga térmica fornecida pela tabela 8.

3.2.4 Cálculo da carga térmica devido aos equipamentos e iluminação

O calor gerado por máquinas, equipamentos, eletrodomésticos e iluminação também são levado em consideração.

A carga térmica por iluminação considera a condição de iluminação, podendo ser fluorescente ou incandescente, a potência gerada pela iluminação e o número de lâmpadas no ambiente (CREDER, 2004). As relações são expostas abaixo:

- **Iluminação Incandescente:**

q = total de watts, em unidades SI

ou

q = Watts x 3,4 quando “ q ” é dado em BTU/H

- **Iluminação fluorescente:** é definida pela equação 14.

$$q = 1,2 \cdot P_w \cdot 0,860 \cdot n \quad (14)$$

Onde:

P_w = Potência (Watts);

n = Quantidade de lâmpadas.

A tabela 9 apresenta os valores da dissipação de calor por iluminação.

Tabela 9: Valores Recomendados para Consumo de Energia Elétrica para iluminação.

<i>Local</i>	<i>Tipos de Iluminação</i>	<i>Nível de Iluminação (lux)</i>	<i>Potência Dissipada W/m²</i>
Escritórios	Fluorescente	1.000	40
Lojas	Fluorescente	1.000	50
Residências	Incandescente	300	30
Restaurantes	Incandescente	150	25
Auditórios:			
a) Tribuna	Incandescente	1.000	50
b) Platéia	Incandescente	500	30
c) Sala de Espera	Incandescente	150	20

Fonte: Adaptado CREDER, 2004.

A carga térmica dos eletrodomésticos, máquinas e outros equipamentos elétricos é adquirida pela equação 15.

$$q = \left(\frac{P}{n} - P \right) \cdot 2490 \quad (15)$$

Onde:

q = Carga térmica (BTU/h/HP);

P = Potência (HP)

n = Rendimento.

A potência dos equipamentos podem ser adquiridas diretamente com o fornecedor ou catálogo do fabricante, entretanto, as tabelas 10 e 11 apresentam alguns valores de potência de fontes diversas.

Tabela 10: Calor liberado por fontes diversas

Equipamentos Diversos			Kcal/h		
			Sensível	Latente	Total
Equipamentos elétricos					
Aparelhos elétricos - por KW			860	0	860
Forno elétrico - serviço de cozinha por KW			690	170	860
Torradeiras e aparelhos de grelhar por KW			770	90	860
Mesa Quente - por KW			690	170	860
Cafeteiras - por litro			100	50	150
Equipamentos a Gás					
GLP 50% butano + 50% propano por m ³ /h			5540	700	6240
GLP (50%/50%) por kg			9800	1200	11000
Bico de Bunsen - tamanho grande			835	215	1050
Fogão a gás-serviço de rest. por m ² de superfície de mesa			10500	10500	21000
Banho Maria					
Por m ² de superfície Superior			2130	1120	3250
Cafeteira - por litro			150	50	200
Equipamentos a Vapor					
Banho Maria por m ² de boca			1125	2625	3750
Alimentos					
Por pessoa (restaurante)			7	7	14
Motores Elétricos					
Potência Placa		Eficiência aproximada			
Até 1/4 CV	Por CV	60	1050	0	1050
1/2 a 1 CV	Por CV	70	900	0	900
1 ½ CV a 5 CV	Por CV	80	800	0	800
7 ½ CV a 20 CV	Por CV	85	150	0	750
Acima de 20 CV	Por CV	88	725	0	725

Fonte: ABNT NBR 16401, 2008

Tabela 11: Calor liberado por equipamentos de escritório

Computadores	Uso contínuo W	Modo economizador W
Computadores		
Valor médio	55	20
Valor com fator de segurança	65	25
Valor com fator de segurança alto	75	30
Monitores		
Pequeno (13 pol. a 15 pol.)	55	0
Médio (16 pol. a 18 pol.)	70	0
Grande (19 pol. a 20 pol.)	80	0

Impressoras e copiadoras	Uso contínuo W	1 página por minuto W	Ligada, em espera W
Impressoras a laser			
De mesa, pequena	130	75	10
De mesa	215	100	35
De escritório, pequena	320	160	70
De escritório, grande	550	275	125
Copiadoras			
De mesa	400	85	20
De escritório	1 100	400	300

Equipamentos diversos	Potência máxima W	Dissipação recomendada W
Caixas registradoras	60	48
Máquinas de fax	15	10
Máquinas de café (10 xícaras)	1 500	1 050 sensível 450 latente
Máquinas de venda de bebidas refrigeradas	1 150 a 1 920	575 a 960
Máquinas de venda de salgadinhos	240 a 275	240 a 275
Bebedouros refrigerados	700	350

Fonte: ABNT NBR 16401, 2008

3.2.5 Cálculo de carga térmica por renovações de ar

A carga térmica por infiltração de ar é caracterizada pelo ar perdido em todas aberturas, frestas e exaustores. Além desse ar que completa as perda, também há o ar necessário às pessoas. Esses dados são obtidos pelas tabelas 12 e 13 em metros cúbicos por hora (ABNT NBR 16401, 2008).

Tabela 12: Ar Exterior para Ventilação.

Local	m³/h Pessoa	
	Preferível	Mínima
Apartamentos	35	25
Bancos	25	17
Barbearias	25	17
Bar	35	25
Escritório geral	25	17
Lojas	48	8
Quartos (hospitais)	25	17
Quartos (hotéis)	25	17
Residências	35	25
Restaurantes	35	25
Teatros – cinemas – auditórios	13	10
Salas de aula	50	40
Salas de reunião	35	25
Aplicações gerais		
por pessoa (não fumando)	50	40

Fonte: Adaptado CREDER, 2004.

Tabela 13: Fluxo de ar externo pelas portas

Pelas Frestas		
Tipo de Abertura	Observação	m³/h (por metro de frestas) (*)
<i>Janelas</i>		
- Comum		3
- Basculante		3
- Guilhotina com caixilho de madeira	Mal ajustada	6.5
	Bem ajustada	2
- Guilhotina com caixilho metálico	Sem vedação	4.5
	Com vedação	1.8
- Portas	Mal ajustada	13
	Bem ajustada	6.5
(*) Largura da fresta considerada de 4.5 mm		

Fonte: ABNT NBR 16401, 2008

O método da troca de ar é responsável por estimar a carga térmica de renovação, que significa a troca de todo ar contido no ambiente por hora. O ar introduzido no ambiente aumenta a carga térmica em calor sensível e calor latente. Obtém-se esta perda de calor sensível pela equação 16:

$$q_s = 0,29. Q. (t_e - t_i) \quad (16)$$

Sendo que:

Q_s = calor sensível (Kcal/h);

Q = fluxo de ar (m³/h);

t_e = temperatura do ar exterior (°C);

t_i = temperatura do interior (°C).

Para o cálculo de calor latente, utiliza-se a equação 17:

$$q_l = 583. C \quad (17)$$

Sendo:

q_l = calor latente em kcal/h;

C = equação 18.

$$C = (UE_2 - UE_1). y. Q \quad (18)$$

Onde:

UE_2 = umidade específica do ar no interior (kg/kg);

UE_1 = umidade específica do ar na entrada (kg/kg);

y = peso específico do ar (kg/m³);

Q = fluxo de ar (m³/h).

A tabela 14 apresenta o fluxo de ar por tipo de local.

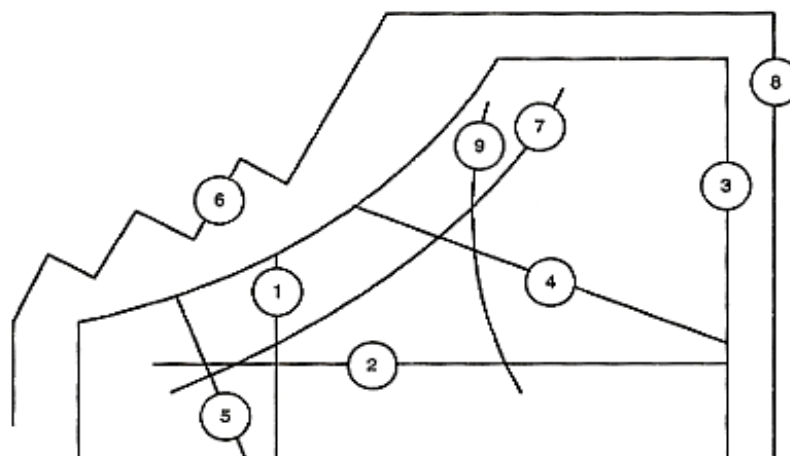
Tabela 14: Fluxo de ar exterior para renovação

LOCAL	m ³ / h por pessoa		Concentração de Fumantes
	Recomendável	Mínimo	
Bancos	17	13	Ocasional
Barbearias	25	17	Considerável
Salões de beleza	17	13	Ocasional
Bares	68	42	(-)
Cassinos-Grill-Room	45	35	(-)
Escritórios			
Públicos	25	17	Alguns
Privados	42	25	Nenhum
Privados	51	42	Considerável
Outros Ambientes			
Estúdios	35	25	Nenhum
Lojas	17	13	Ocasional
Salas de hotéis	51	42	Grande
Residências	35	17	Alguns
Restaurantes	25	20	Considerável
Salas de diretores	85	50	Muito Grande
Teatros-Cinemas-Auditórios	13	8	Nenhum
Teatros-Cinemas-Auditórios	25	17	Alguns
Salas de aula	50	40	Nenhum
Salas de reuniões	85	50	Muito grande
Aplicações Gerais			
Por pessoa (Não fumando)	13	8	(-)
Por pessoa (fumando)	68	42	(-)
Fonte: ASHRAE Handbook of fundamentals - 1972			

Fonte: ASHRAE Handbook of fundamentals, 1997.

Os valores de umidade específica do ar podem ser adquiridos pela carta psicrométrica do apêndice A pela figura 29. Esta carta é responsável por apresentar propriedades do ar úmido. O uso dela permite analisar graficamente os processos que envolvem o ar úmido, facilitando a solução de problemas de cálculo da carga térmica (JÚNIOR, 2013). A figura 23 apresenta um exemplo de carta psicrométrica e suas partes.

Figura 23: Partes da carta psicrométrica



Fonte: Júnior, 2013.

Essa carta é constituída das seguintes partes (JÚNIOR, 2013):

- 1 - Linha de temperatura do bulbo seco (TBS), em °C;
- 2 - Linha da umidade específica em kg de umidade por kg de ar seco;
- 3 - Linha da escala de umidade específica;
- 4 - Linha da temperatura de bulbo úmido (TBU), em °C;
- 5 - Linha do volume específico (em m³ de mistura por kg de ar seco);
- 6 - Linha de escalas de entalpia (h) em kJ/kg de ar seco na saturação;
- 7- Linha da umidade relativa em %;
- 8 - Linha da razão de calor sensível (RCS) igual ao Calor sensível/Carga térmica;
- 9 - Linha do desvio da entalpia em relação à entalpia específica na saturação.

3.3 Carga térmica total

Somando as conhecidas cargas térmicas devida à condução, insolação, pessoas, equipamentos e renovações de ar temos a carga térmica total a retirar (ou introduzir) do recinto para obter as condições de conforto desejadas.

Como medida de segurança, para atender às penetrações eventuais de calor no recinto, acrescentamos mais 15% aos cálculos.

3.4 Seleção dos equipamentos

Os equipamentos são normalmente selecionados de acordo com a carga térmica determinada em contato com fornecedores. Os catálogos dos equipamentos dos fornecedores oferecem os valores de potências frigoríficas das unidades externas e unidades internas para determinadas temperaturas internas e externa, como demonstra Hitachi (2019).

4 RESULTADOS

Esse capítulo apresenta os valores obtidos pelo memorial de cálculo apresentado no apêndice B, assim como os equipamentos escolhidos para climatizar o ambiente.

4.1 Carga térmica e seleção dos equipamentos

Nesse tópico será apresentada a tabela com os valores obtidos nos cálculos apresentados no apêndice B e os equipamentos selecionados. Vale ressaltar que para os cálculos foi considerada a temperatura de bulbo seco de 30 °C exterior e 22 °C interior, telhados escuros, cores claras na parede externa e janelas sem proteção. A figura 28 apresenta a disposição dos condicionadores de ar na academia.

A tabela 15 apresenta o valor de carga térmica requerida encontrada a partir da metodologia descrita.

Tabela 15: Carga térmica Academia Pró Fitness

CARGA TÉRMICA ACADEMIA		
Descrição	kCal/h	BTU/h
Condução – Paredes	1546,01	6.134,568
Superfícies Transp.	16.020	63.567,36
Pessoas	3.622,3	14.373,2864
Eq. Elétricos e Iluminação	3.276,5	13.001,152
Infiltração de ar	20.041,08	79.523,01
Total	44.505,89	176.599,37
Total + 15%	51.181,7735	203.089,28

Com base nos valores indicados pela tabela 15 e levando em conta o custo benefício solicitado pelo cliente, foram selecionados 2 conjuntos *splits* tipo piso teto de 55.000 BTU/h e 2 conjuntos *splits* tipo piso teto de 48.000 BTU/h, somando um total de 206.000 BTU/h.

A tabela 16, demonstra a lista de materiais que serão adquiridos e instalados pela academia.

Tabela 16: Lista de materiais

Modelo	Quant.	Descrição
096662055	2	Unidade condensadora trifásica Philco - 55.000 BTU/h
096662054	2	Unidade evaporadora trifásica Philco – 55.000 BTU/h
SPC48F5L	2	Unidade condensadora trifásica Hitachi – 48.000 BTU/h
SPC48F5LPriMAiry	2	Unidade evaporadora trifásica Hitachi – 48.000 BTU/h

As figuras 24 e 25 mostram as unidades evaporadoras de 55000 BTU/h e 48000 BTU/h, respectivamente. Já as figuras 26 e 27, ilustram as respectivas unidades condensadoras.

Figura 24: Evaporadora 55000 BTU/h



Fonte: PHILCO, adaptado, 2018.

Figura 25: Evaporadora 48000 BTU/h



Fonte: HITACHI, adaptado, 2021.

Figura 26: Condensadora 55000 BTU/h



Fonte: PHILCO, adaptado, 2018.

Figura 27: Condensadora 48000 BTU/h



Fonte: HITACHI, adaptado, 2021.

Levando em conta que as unidades condensadoras serão instaladas próximas às evaporadoras, não será necessário considerar tubulação, visto que o material enviado com os equipamentos será suficiente para efetuar a instalação.

4.2 Orçamento

O orçamento levará em conta valores médios para a aquisição por pessoa física. Portanto, esse orçamento serve, apenas, para dar uma visão geral dos custos envolvidos. Para obter os valores reais referentes à parte de aquisições desse projeto,

o cliente deverá entrar em contato com os fabricantes ou fornecedores do produto indicado ou equivalente. A tabela 17 apresenta o orçamento para os 4 conjuntos requisitados.

Tabela 17: Orçamento

Produto	Valor unit.	Quant.	Valor Total
Conjunto 55.000 BTU/h	R\$ 5.850,00	2	R\$ 11.700,00
Conjunto 48.000 BTU/h	R\$ 6.870,00	2	R\$ 13.740,00
VALOR TOTAL:			R\$ 25.440,00

5 CONCLUSÃO

A partir dos cálculos de carga térmica é possível observar o elevado valor encontrado, isso se deve, por parte, à grande quantidade de janelas presentes na academia. Além disso, o acesso de pessoas é constante e, devido ao fato de estarem se exercitando, demandam de grande renovação de ar. Com isso o valor de carga térmica requerido é de, aproximadamente, 203.000 BTU/h.

A metodologia utilizada para execução do projeto foi toda descrita nesse trabalho, de forma que o leitor se ambiente ao que está sendo executado em cada etapa do apêndice B.

Levando em conta a necessidade do cliente de promover um ambiente agradável aos alunos de forma econômica, foram designados para a academia modelos de ar condicionado tipo *split* tipo piso teto. Esse tipo de condicionador de ar atende as demandas da academia e possuem ótimo custo benefício. A carga térmica requerida, considerando margem de segurança que abrange eventuais imprevistos, é de pouco mais de 203.000 BTU/h. A carga térmica entregue pelos 4 equipamentos designados é de 206.000 BTU/h, portanto a demanda será atendida.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE. **Enginners, Ashrae Handbook**. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401 - 1**. Instalações de ar condicionado, sistemas centrais e unitários – Projeto das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410**. Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004

BMS – BUILDING MANAGEMENT SYSTEM. **Especificações Técnicas de edifícios comerciais**: Ar condicionado: catálogo.

CLIMACEL AR CONDICIONADO. Florianópolis: Split cassette, 2015. Versão online. Disponível em: <<http://www.climacel.com.br/?pg=ver&aWlk=NDA3>> Acesso em: 10 abril 2022.

COSTA E.C. **Refrigeração**. 3ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2011. 324p.

CREDER, H. **Instalações de Ar Condicionado**. 6ª ed. LTC, 2004.

FR CLIMATIZAÇÃO. Vila Monumento: Split Built-in, 2012. Versão online. Disponível em: <<http://www.frclimatizacao.com.br/split/split-built-in/>> Acesso em: 10 abril 2022.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto termico**. São Paulo: Nobel, 2006.

HITACHI. **Manual de instalação e operação – Primary**. Manaus: Hitachi, 2021.

HITACHI. **Sistemas HVAC HITACHI**. 2019.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P.; BERGMAN, T.L.; LAVINE, A.S. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007. 698p.

JÚNIOR, J. **Ar Condicionado e Ventilação**. Material Didático — Centro Universitário Redento, Itaperuna/RJ, 2013.

KLIMA A CASA DO AR CONDICIONADO. Porto Alegre: A história do ar condicionado, 2012. Versão online. Disponível em:

<http://klimars.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=54> Acesso em: 20 abril 2022.

MILLER R.; MILLER M. R. **Refrigeração e Ar condicionado**. 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2008. 540p.

PHILCO ELETRÔNICOS S.A. **Manual de instruções: Condicionar de Ar**. Manaus: Philco, 2018.

RESNICK R.; HALLIDAY D.; KRANE K. S. **Física 2**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2007. 335p.

SILVA, J. de C.; SILVA, A.C. G. C. **Refrigeração e Climatização para Técnicos e Engenheiros**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2007. 346p.

SILVA, J. G. **Introdução à Tecnologia da Refrigeração e da Climatização**. 2ª ed. São Paulo: Editora ARTLIBER., 2004. 224p.

STOECKER W. F.; JABARDO J. M. S. **Refrigeração Industrial**. 2ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2002. 384p.

US4 Ar condicionado Ltda. Santo André: A origem do ar condicionado, 2015. Versão online. Disponível em: <<http://www.us4ar.com.br/origem.html#>> Acesso em: 20 abril 2022.

APÊNDICE A

Tabelas e indicações para cálculo de carga térmica

As tabelas 18, 19, 20 e 21 apresentam respectivamente os dados do cliente, as características do verão local, as características das paredes e janelas do estabelecimento e a área que será climatizada. A figura 28 apresenta a vista superior da academia e deixa evidente a disposição das unidades evaporadoras e condensadoras.

Tabela 18: Dados do cliente

ENDEREÇO:	Cruzamento Avenida Agenor Tomé x Rua Zilma Meireles, Quincas Machado, Guaçuí-ES, CEP. 29560-000.
CLIENTE:	Academia Pró Fitness

Tabela 19: Características do verão local

TEMPERATURA	Interior	Exterior
Bulso Seco [TBS]	22 °C	30 °C
Umidade Relativa [UR]	50%	85%

Tabela 20: Características do local

TELHADO	Escuro
PAREDES EXTERNAS	Cores claras
JANELAS	Sem proteção

Tabela 21: Área a ser climatizada

LOCAL	ÁREA (m ²)
Total	204

Figura 28: Vista Superior Academia

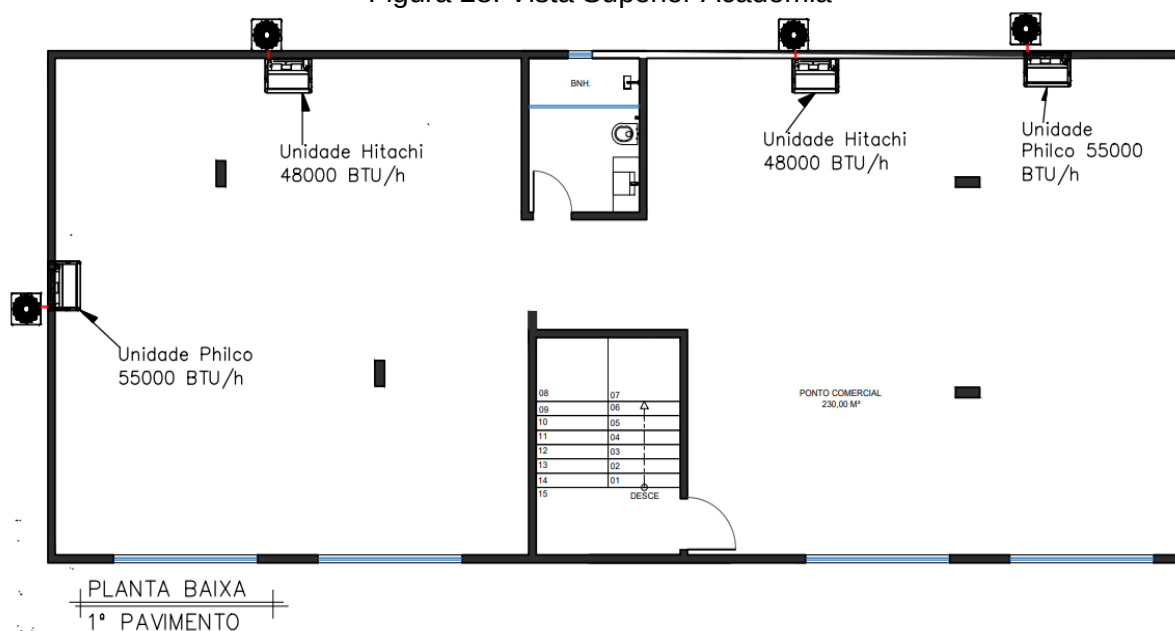


Figura 29: Carta Psicrométrica

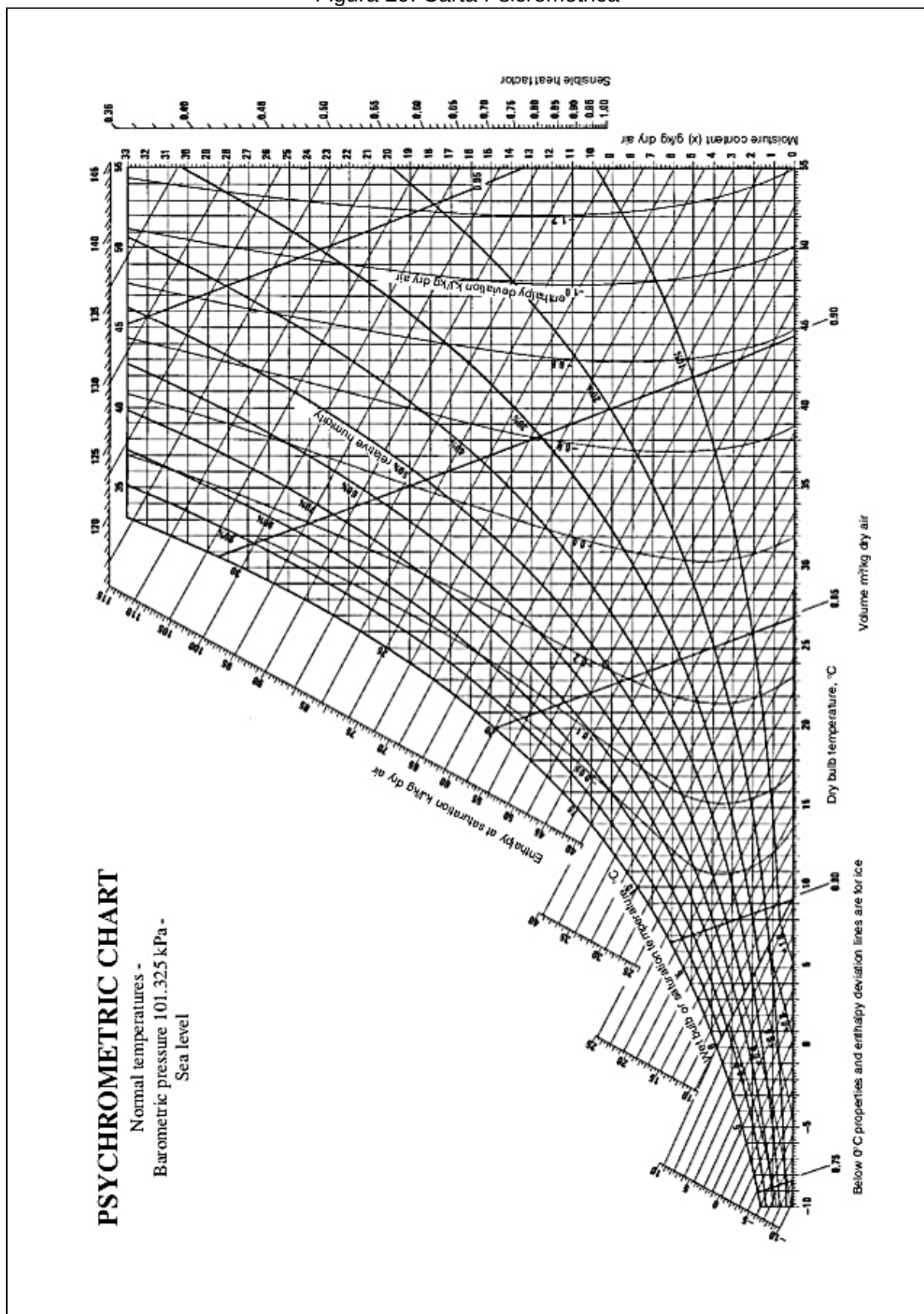


Tabela 22: Coeficientes de transmissão do calor através de vidros (Fator Solar f).

22° 54' Latitude Sul		kcal/h . m² (Fator Solar) de Áreas de Vidro													Valores Máximos em Cada Orientação entre Setembro e Março	
Dia do Ano	Verão	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	kcal/h . m²	W/m²
	Hora Local															
	Face do Prédio															
22 DEZEMBRO	S	87	98	68	54	49	43	41	43	49	54	65	98	87	98	113,5
	SE	260	421	388	290	190	73	41	38	38	38	38	27	11	420	488,8
	E	263	440	475	426	277	122	38	38	38	38	38	27	11	474	551,8
	NE	95	193	222	214	157	84	43	38	38	38	38	27	11	222	358,6
	N	11	27	33	38	41	49	49	49	41	38	38	27	11	49	56,7
	NO	11	27	33	38	38	38	43	84	157	214	217	193	95	217	352,2
	O	11	27	33	38	38	38	38	122	277	426	434	440	263	440	510,8
	SO	11	27	33	38	38	38	41	73	190	290	364	421	260	420	488,8
	CLARABÓIA	41	176	361	515	629	684	738	412	629	515	429	176	41	740	857,8

Fonte: CREEDER, 2004

Tabela 23: Acréscimo ao diferencial de temperatura

SUPERFÍCIE	Cor Escura	Cor Média	Cor Clara
	°C	°C	°C
Telhado	25	16,6	8,3
Parede Norte	8,3	5,5	2,7
Parede Sul	0	0	0
Parede Leste	16,6	11,1	5,5
Parede Oeste	16,6	11,1	5,5

Fonte: CREDER, 2004

Tabela 24: Ganho de calor em Watts por HP para motores elétricos

POTÊNCIA HP	RENDIMENTO APROXIMADO %	GANHO DE CALOR POR W/HP
Até ¼	60	1231
1/2 –1	70	1055
1 ½ -5	80	938
7,5 –20	85	879
Maior que 20	88	850

Fonte: CREDER, 2004

APÊNDICE B

Memorial de Cálculo

1.0 Carga Térmica devido à Condução e Insolação – Calor Sensível

Parede Norte

$$A_c = A_{parede}$$

$$A_{parede} = 3 \cdot 20,7 = 62,1m^2$$

$$A_c = A_{parede} = 62,1m^2$$

Definir o Coeficiente Global U :

$$U = \frac{1}{R}$$

Sendo,

R = Resistência do material da parede.

$$R_{total} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{C_{reboco}} + \frac{1}{C_{tijolo}} + \frac{1}{C_{reboco}} + \frac{1}{h_i}$$

h_e = Condutância superficial exterior = $19,5 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$

h_i = Condutância superficial interior = $7,96 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$

C_{reboco} = Condutância do reboco = $2,39 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$

$$C_{tijolo} = \frac{K}{X}$$

Sendo,

$K = 0,62 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$

$X = 0,09\text{m}$

$$C_{tijolo} = \frac{0,62}{0,09} = 6,89 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$$

Calcula-se então o R total:

$$R_{total} = \frac{1}{19,5} + \frac{1}{2,39} + \frac{1}{6,89} + \frac{1}{2,39} + \frac{1}{7,96}$$

$$R_{total} = 1,1589 \text{ h.m}^2.\text{°C/kcal}$$

Calcula-se o coeficiente global de transmissão de calor U :

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{1,1589} = 0,8639 \text{ kcal/h.m}^2.\text{°C}$$

Calcula-se o calor sensível por condução e insolação na parede

$$\begin{aligned} Q_{sn} &= A_c \cdot U \cdot [(t_e - t_i) + \Delta_t] \\ Q_{sn} &= 62,1 \cdot 0,8639 \cdot [(30 - 22) + 2,7] \\ Q_{sn} &= 574,04 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

Parede Leste

$$\begin{aligned} A_c &= A_{parede} - A_{janelas} \\ A_{parede} &= 9,7 \cdot 3 = 29,1 \text{ m}^2 \\ A_{janelas} &= 7,3 \cdot 3 = 21,9 \text{ m}^2 \\ A_c &= A_{parede} - A_{janelas} = 29,1 - 21,9 = 7,2 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Definir o Coeficiente Global U :

$$U = \frac{1}{R}$$

Sendo,

R = Resistência do material da parede.

$$R_{total} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{C_{reboco}} + \frac{1}{C_{tijolo}} + \frac{1}{C_{reboco}} + \frac{1}{h_i}$$

h_e = Condutância superficial exterior = $19,5 \text{ kcal / h.m}^2.\text{°C}$

h_i = Condutância superficial interior = $7,96 \text{ kcal / h.m}^2.\text{°C}$

C_{reboco} = Condutância do reboco = $2,39 \text{ kcal / h.m}^2.\text{°C}$

$$C_{tijolo} = \frac{K}{X}$$

Sendo,

$$K = 0,62 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.^\circ\text{C}$$

$$X = 0,09\text{m}$$

$$C_{tijolo} = \frac{0,62}{0,09} = 6,89 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.^\circ\text{C}$$

Calcula-se então o R total:

$$R_{total} = \frac{1}{19,5} + \frac{1}{2,39} + \frac{1}{6,89} + \frac{1}{2,39} + \frac{1}{7,96}$$

$$R_{total} = 1,1589 \text{ h.m}^2.^\circ\text{C/kcal}$$

Calcula-se o coeficiente global de transmissão de calor U :

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{1,1589} = 0,8639 \text{ kcal/h.m}^2.^\circ\text{C}$$

Calcula-se o calor sensível por condução e insolação na parede

$$Q_{sl} = A_c \cdot U \cdot [(t_e - t_i) + \Delta_t]$$

$$Q_{sl} = 7,2 \cdot 0,8639 \cdot [(30 - 22) + 5,5]$$

$$Q_{sl} = 83,97 \text{ kcal/h}$$

Parede Oeste

$$A_c = A_{parede} = 3 \cdot 9,7\text{m} = 29,1\text{m}^2$$

Definir o Coeficiente Global U :

$$U = \frac{1}{R}$$

Sendo,

R = Resistência do material da parede.

$$R_{total} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{C_{reboco}} + \frac{1}{C_{tijolo}} + \frac{1}{C_{reboco}} + \frac{1}{h_i}$$

h_e = Condutância superficial exterior = $19,5 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$

h_i = Condutância superficial interior = $7,96 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$

C_{reboco} = Condutância do reboco = $2,39 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$

$$C_{tijolo} = \frac{K}{X}$$

Sendo,

$K = 0,62 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$

$X = 0,09\text{m}$

$$C_{tijolo} = \frac{0,62}{0,09} = 6,89 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$$

Calcula-se então o R total:

$$R_{total} = \frac{1}{19,5} + \frac{1}{2,39} + \frac{1}{6,89} + \frac{1}{2,39} + \frac{1}{7,96}$$

$$R_{total} = 1,1589 \text{ h.m}^2.\text{°C/kcal}$$

Calcula-se o coeficiente global de transmissão de calor U :

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{1,1589} = 0,8639 \text{ kcal/h.m}^2.\text{°C}$$

Calcula-se o calor sensível por condução e insolação na parede

$$Q_{so} = A_c \cdot U \cdot [(t_e - t_i) + \Delta_t]$$

$$Q_{so} = 29,1 \cdot 0,8639 \cdot [(30 - 22) + 5,5]$$

$$Q_{so} = 339,38 \text{ kcal/h}$$

Parede Sul

$$A_c = A_{parede} - A_{janelas}$$

$$A_{parede} = 20 \cdot 3 = 60\text{m}^2$$

$$A_{janelas} = 3 \cdot 12 = 36\text{m}^2$$

$$A_c = A_{parede} - A_{janelas} = 60 - 36 = 24\text{m}^2$$

Definir o Coeficiente Global U :

$$U = \frac{1}{R}$$

Sendo,

R = Resistência do material da parede.

$$R_{total} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{C_{reboco}} + \frac{1}{C_{tijolo}} + \frac{1}{C_{reboco}} + \frac{1}{h_i}$$

h_e = Condutância superficial exterior = $19,5 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$

h_i = Condutância superficial interior = $7,96 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$

C_{reboco} = Condutância do reboco = $2,39 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$

$$C_{tijolo} = \frac{K}{X}$$

Sendo,

$K = 0,62 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$

$X = 0,09\text{m}$

$$C_{tijolo} = \frac{0,62}{0,09} = 6,89 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$$

Calcula-se então o R total:

$$R_{total} = \frac{1}{19,5} + \frac{1}{2,39} + \frac{1}{6,89} + \frac{1}{2,39} + \frac{1}{7,96}$$

$$R_{total} = 1,1589 \text{ h.m}^2.\text{°C/kcal}$$

Calcula-se o coeficiente global de transmissão de calor U :

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{1,1589} = 0,8639 \text{ kcal/h.m}^2.\text{°C}$$

Calcula-se o calor sensível por condução e insolação na parede

$$Q_{ss} = A_c \cdot U \cdot [(t_e - t_i) + \Delta_t]$$

$$Q_{ss} = 24 \cdot 0,8639 \cdot [(30 - 22) + 0]$$

$$Q_{ss} = 165,87 \text{ kcal/h}$$

Paredes Internas

$$A_c = A_{parede} - A_{portas}$$

$$A_{parede} = 21 \cdot 3 = 63 \text{ m}^2$$

$$A_{portas} = 2 \cdot 1 \cdot (2) = 4 \text{ m}^2$$

$$A_c = A_{parede} - A_{portas} = 63 - 4 = 59 \text{ m}^2$$

Definir o Coeficiente Global U :

$$U = \frac{1}{R}$$

Sendo,

R = Resistência do material da parede.

$$R_{total} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{C_{reboco}} + \frac{1}{C_{tijolo}} + \frac{1}{C_{reboco}} + \frac{1}{h_i}$$

$$h_i = h_e = 7,96 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$$

$$C_{reboco} = \text{Condutância do reboco} = 2,39 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$$

$$C_{tijolo} = \frac{K}{X}$$

Sendo,

$$K = 0,62 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$$

$$X = 0,09 \text{ m}$$

$$C_{tijolo} = \frac{0,62}{0,09} = 6,89 \text{ kcal} / \text{h.m}^2.\text{°C}$$

Calcula-se então o R total:

$$R_{total} = \frac{1}{7,96} + \frac{1}{2,39} + \frac{1}{6,89} + \frac{1}{2,39} + \frac{1}{7,96}$$

$$R_{total} = 1,2332 \text{ h.m}^2.\text{°C/kcal}$$

Calcula-se o coeficiente global de transmissão de calor U :

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{1,2332} = 0,8109 \text{ kcal/h.m}^2.\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Calcula-se o calor sensível por condução e insolação na parede

$$\begin{aligned} Q_{si} &= A_c \cdot U \cdot [(t_e - t_i) + \Delta_t] \\ Q_{si} &= 59 \cdot 0,8109 \cdot [(30 - 22) + 0] \\ Q_{si} &= 382,75 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

Total de condução nas paredes

$$\begin{aligned} \sum Q_{tp} &= Q_{sn} + Q_{ss} + Q_{sl} + Q_{so} + Q_{si} \\ \sum Q_{tp} &= 574,04 \frac{\text{kcal}}{h} + 165,87 \frac{\text{kcal}}{h} + 83,97 \frac{\text{kcal}}{h} + 339,38 \frac{\text{kcal}}{h} + 382,75 \frac{\text{kcal}}{h} \\ \sum Q_{tp} &= 1546,01 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

2.0 Carga Térmica devido à Condução e insolação em Superfícies Transparentes – Calor Sensível

Janelas de vidro leste

$$Q_s = f \cdot A \cdot \varphi_1$$

Onde,

f = Fator solar = 475 kcal / h.m² (Horario considerado: 8h)

φ_1 = 1.1,15 [Bordas metálicas sem proteção]

$A = 7,3 \cdot 3 = 21,9\text{m}^2$

$$\begin{aligned} Q_{sl} &= 475 \cdot 21,9 \cdot (1.1,15) \\ Q_{sl} &= 11962,8 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

O fator solar “ f ” pode ser encontrado por meio da tabela 22.

Janelas de vidro sul

$$Q_s = f \cdot A \cdot \varphi_1$$

Onde,

f = Fator solar = 98 kcal / h.m² (Horario considerado: 7h ou 17h)

φ_1 = 1.1,15 [Bordas metálicas sem proteção]

$$A = 12 \cdot 3 = 36m^2$$

$$Q_{ss} = 98 \cdot 36 \cdot (1.1,15)$$

$$Q_{ss} = 4057,2 \text{ kcal/h}$$

Carga térmica total superfícies transparentes

$$\sum Q_{tj} = Q_{ss} + Q_{sl}$$

$$\sum Q_{tj} = 4057,2 + 11962,8 = 16020 \text{ kcal/h}$$

3.0 Carga Térmica devido às pessoas**Calor Sensível e Latente**

Temperatura do Ambiente = 22°C

$$q = n \cdot q'$$

Pessoas em movimento lento

Número de pessoas = 3.

$$q_s = 3 \cdot 72,1 \text{ kcal/h}$$

$$q_s = 216,3 \text{ kcal/h}$$

$$q_l = 3 \cdot 28 \text{ kcal/h}$$

$$q_l = 84 \text{ kcal/h}$$

Pessoas em movimento moderado

Número de pessoas em movimento = 20.

$$q_s = 20 \cdot 82,2 \text{ kcal/h}$$

$$q_s = 1644 \text{ kcal/h}$$

$$q_l = 20 \cdot 83,9 \text{ kcal/h}$$

$$q_l = 1678 \text{ kcal/h}$$

Calor sensível total

$$q_{st} = 216,3 + 1644 = 1860,3 \text{ kcal/h}$$

Calor latente total

$$q_{lt} = 84 + 1678 = 1762 \text{ kcal/h}$$

Carga térmica total devido às pessoas

$$\sum Q_{tp} = Q_{st} + Q_{lt}$$

$$\sum Q_{tpe} = 1860,3 + 1762 = 3622,3 \text{ kcal/h}$$

4.0 Carga Térmica devido aos equipamento elétricos e Iluminação - Calor Sensível**1 Computador (300 Watts)**

$$q = 1,2 \cdot P_w \cdot 0,860 \cdot n$$

$$q_s = 1,2 \cdot 300 \cdot 0,860 \cdot 1$$

$$q_s = 309,6 \text{ kcal/h}$$

1 Cafeteira Elétrica (600 Watts) = 0,80HP

$$q_s = \left(\frac{0,80}{0,7} - 0,80 \right) \cdot 2490$$

$$q_s = 853,7 \text{ kcal/h}$$

O rendimento aproximado, de acordo com a potência do equipamento, pode ser encontrado por meio da tabela 24.

12 Lâmpadas Fluorescentes Bulbo Light (50 Watts)

$$q_s = 1,2 \cdot P_w \cdot 0,860 \cdot n$$

$$q_s = 1,2 \cdot 50 \cdot 0,860 \cdot 12$$

$$q_s = 619,2 \text{ kcal/h}$$

1 Aparelho de som (1800 Watts) = 2,4HP

$$q_s = \left(\frac{2,4}{0,8} - 2,4 \right) \cdot 2490$$

$$q_s = 1494 \text{ kcal/h}$$

Total de Equipamentos

$$\sum Q_{te} = 309,6 + 853,7 + 619,2 + 1494$$

$$\sum Q_{te} = 3276,5 \text{ kcal/h}$$

5.0 Carga Térmica por renovação de Ar**Calor Sensível**

$$q_s = 0,29 \cdot Q \cdot (t_e - t_i)$$

Q = fluxo de ar = 68 m³/h;

t_e = temperatura do ar exterior = 30°C;

t_i = temperatura do interior = 22 °C;

23 = Número de pessoas.

$$q_s = 0,29 \cdot 68 \cdot 23 \cdot (30 - 22)$$

$$q_s = 3628,48 \text{ kcal/h}$$

Calor Latente

Calcula-se primeiro o C em base nos dados obtidos na carta psicrométrica

$$C = (UE_2 - UE_1) \cdot y \cdot Q$$

UE_1 = umidade específica do ar no interior = 0,008 kg ar /kg ar seco;

UE_2 = umidade específica do ar na entrada 0,023 kg ar/kg ar seco;

y = peso específico do ar = 1,2kg/m³;

Q = fluxo de ar $68 \text{ m}^3/\text{h}$.

$$C = (0,023 - 0,008) \cdot 1,2 \cdot 68 \cdot 23$$

$$C = 28,152$$

Calcula-se então a carga térmica pelo calor latente:

$$q_l = 583 \cdot C$$

$$q_l = 16412,6 \text{ kcal/h}$$

Calor total devido à renovação de ar

$$\sum Q_t = Q_s + Q_l$$

$$\sum Q_{tr} = 3628,48 + 16412,6 = 20041,08 \text{ kcal/h}$$

6.0 Carga térmica total

A carga térmica total é o somatório de todos os resultados obtidos nos tópicos acima, ou seja:

$$\sum Q_t = Q_{tp} + Q_{tj} + Q_{tpe} + Q_{te} + Q_{tr}$$

$$\sum Q_t = 1546,01 + 16020 + 3622,3 + 3276,5 + 20041,08$$

$$\sum Q_t = 44.505,89 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$\sum Q_t = 176.599,3715 \text{ BTU/h}$$

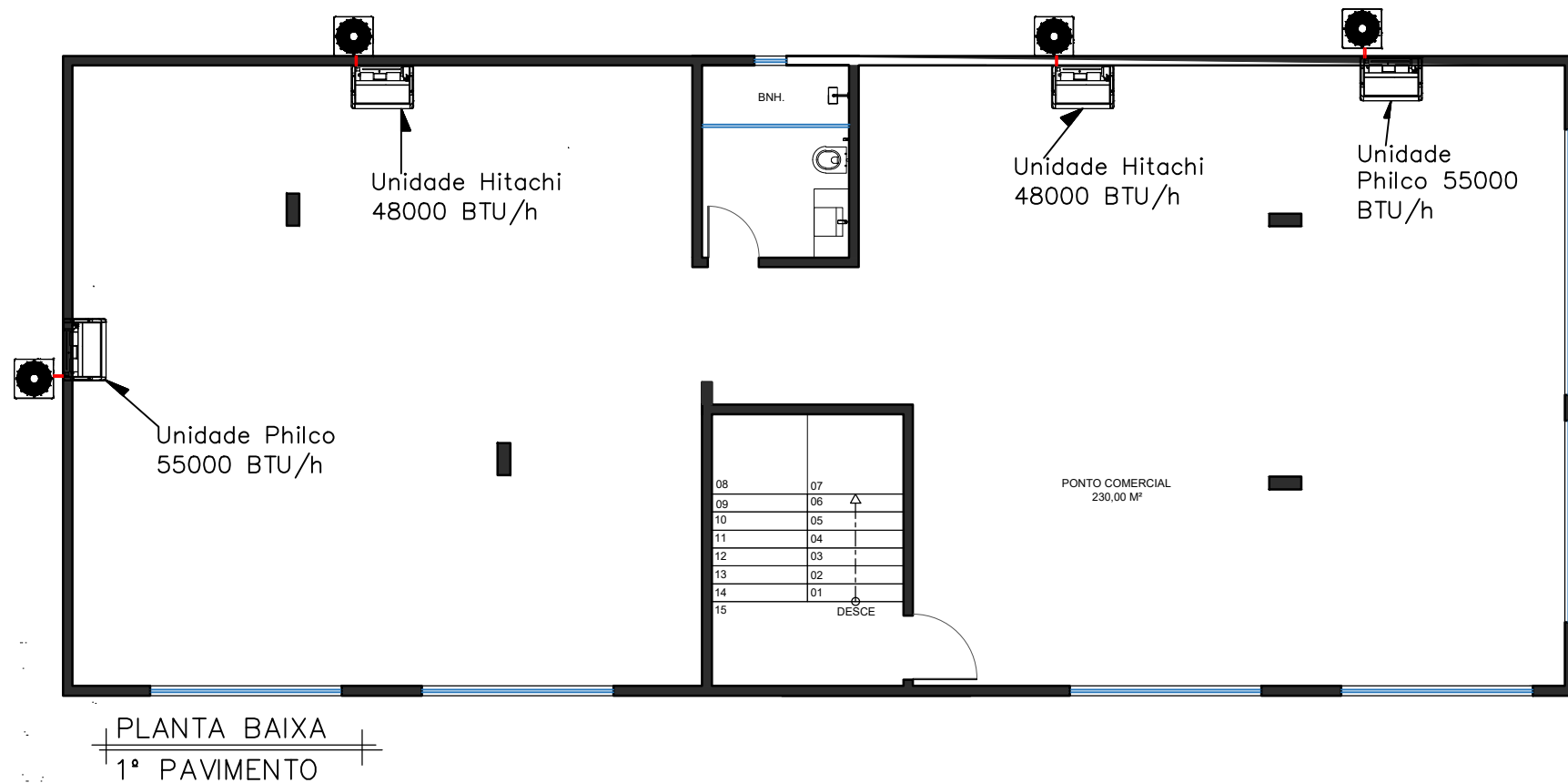
$$Q_t + C.S. = 176599,3715 + 15\%$$

$$Q_t = 203.089,28 \text{ BTU/h}$$

APÊNDICE C

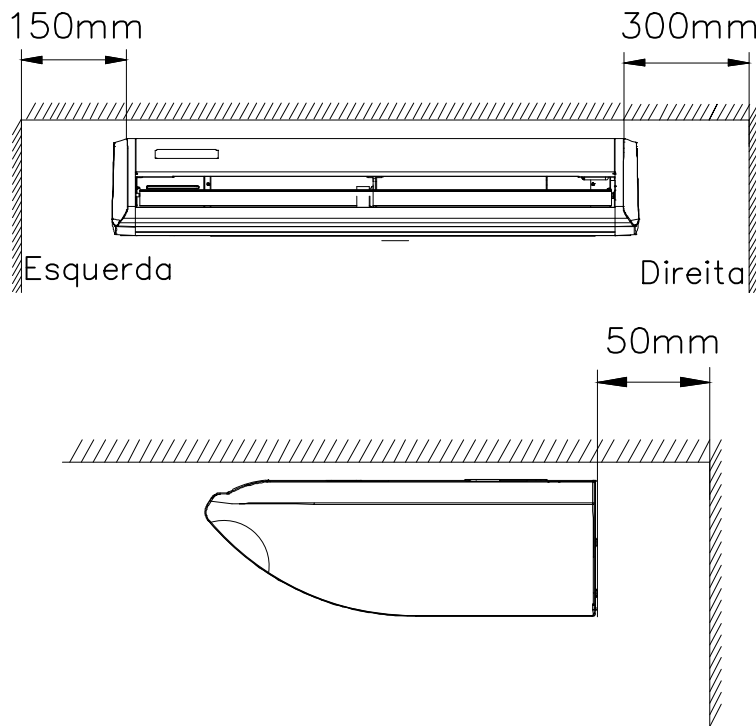
Desenho Técnico A3

PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES



ESCALA 1:100

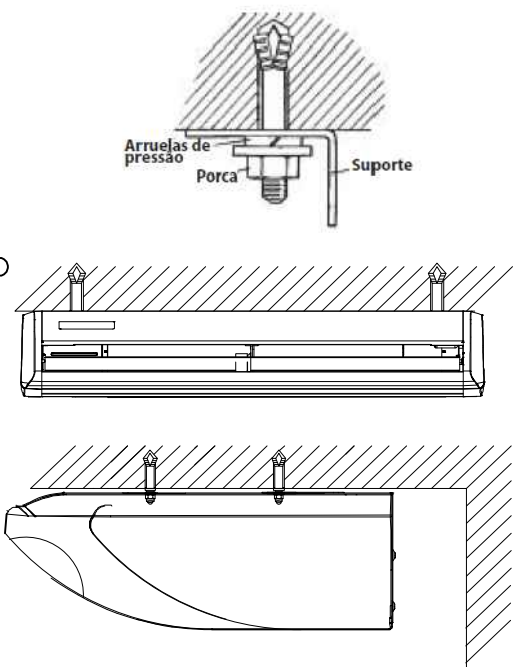
DETALHE FIXAÇÃO – UNIDADES EVAPORADORAS



ESCALA 1:10

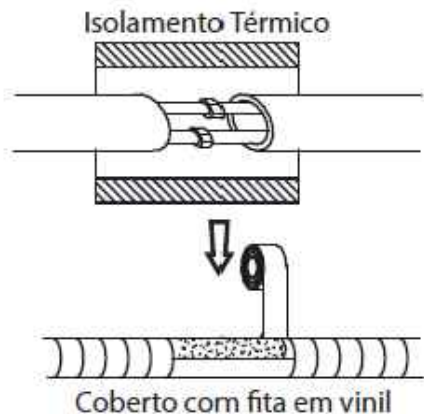
INSTALAÇÃO DA UNIDADE INTERNA (TETO)

- Faça furos com aproximadamente 10mm de diâmetro (Figura A) e para os parafusos de ancoragem, inserindo os parafusos comuns com um martelo (Figura B) para instalar o suporte.
- Instale a unidade interna no suporte utilizando porcas, arruelas e arruelas de pressão.
- Faça um furo na parede para a passagem das tubulações e cabeamentos.

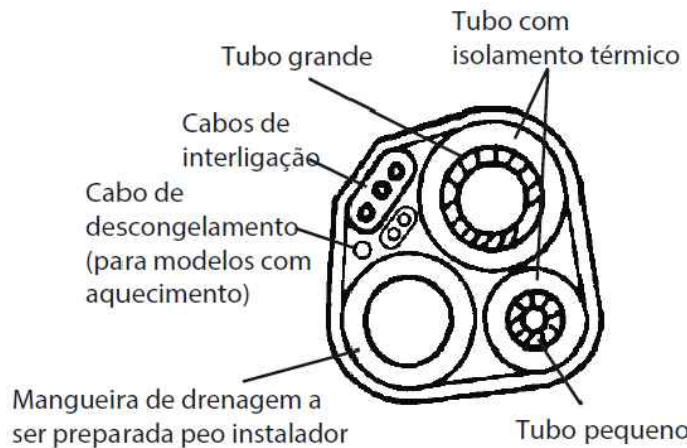


ESCALA 1:10

INDICAÇÃO DE ISOLAMENTO DAS JUNTAS DOS TUBOS



INDICAÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO DOS TUBOS



Status				Alteração:		Descrição:				
SI	Somente para leitura (informativo)					Este documento é de nossa exclusiva propriedade e poderá ser utilizado somente para fins por nós estabelecidos, não devendo portanto ser copiado, reproduzido, exibido ou cedido à terceiros, no todo ou em parte, sem nosso prévio consentimento por escrito, conforme as Leis vigentes em nosso país.				
AP	Aprovação da gerência requerente									
P	Preliminar (estudo)									
FC	Final, a ser completado									
F	Final /Certificado				Nome:	Data:	Cliente :	ART N°:		
Ordem de fabricação				Desenho:	Hadib/Marcio	11/05/2022	Centro Universitário Redentor			
LF	Liberado	Data:	11/05/2022	Examin.			Título:		Desenho N°:	
SS n°		Data:		Projeto:		11/05/2022	Projeto de Climatização – Academia Pró Fitness		PC-1	
RM n°										
NF	Não liberado			Aprov.	Hadib/Marcio	11/05/2022	Assinatura e Carimbo:			
QUANDO NÃO ESPECIFICADAS DIFERENTEMENTE, USAR PARA				✓ LIMPAR ✓ DESBASTAR ✓ ACAB. COMUM ✓ ACAB. LISO ✓ RETIF. LISO ✓ RETIF. E POLIDO ✓ DPT°: ✓ ENG° E PROJ.	Liberado			Escala: INDICADA	Página 01/04	Data: 11/05/2022
Furos -0,0 +0,2 Eixo -0,0 +0,2 Comprimentos +/- 0,3 Ângulos +/- 1/2"										