

Universidade Iguazu
Faculdade De Ciências Exatas E Tecnológica
Curso De Graduação Em Engenharia Mecânica

JULIANE BERNARDO DA SILVA

CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA PARA ACADEMIA.

Nova Iguaçu – RJ

2021

S586c Silva, Juliane Bernardo da.
Cálculo de carga térmica para academia / Juliane
Bernardo da Silva. – 2021.
61f. : il.

Graduação (Engenharia Mecânica). Universidade
Iguaçu, Nova Iguaçu, 2021.
Bibliografia: f.: 60-61.

1. Refrigeração. 2. Climatização. 3. Carga térmica -
Cálculo. I. Título.

CDD 621.56

JULIANE BERNARDO DA SILVA

CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA PARA ACADEMIA.

Monografia submetida ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade Iguazu - UNIG, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.
Orientador: Prof. MSc. Jorge João F. de Souza Junior

Nova Iguaçu – RJ

2021

JULIANE BERNARDO DA SILVA

CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA PARA ACADEMIA.

Monografia submetida à
Coordenação do Curso de
Engenharia Mecânica, da
Universidade Iguazu - UNIG, com
requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Data de aprovação: .

Banca Examinadora:

Presidente:

Prof. M. Sc. Erick de Sousa Marouço
Universidade Iguazu - UNIG

1º. Examinador:

Prof. M. Sc. Jorge João Ferreira de Souza Junior
Universidade Iguazu - UNIG

2o. Examinador:

Prof. M.Sc. Nelson Rodrigues Braga Junior
Universidade Iguazu - UNIG

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus por ter me sustentado em todos os momentos mais difíceis.

Agradecer a minha mãe que me deu todo o apoio e suporte tanto emocional e financeiro durante toda a minha graduação, sem ela eu não teria conseguido. Aos meus amigos que contribuíram de alguma maneira durante essa graduação fica meu eterno agradecimento.

Agradeço também ao meu orientador João Jorge que teve muita paciência em me orientar.

RESUMO

A climatização consiste na remoção de calor de um corpo ou ambiente, com o objetivo de reduzir sua temperatura trazendo conforto térmico ao ambiente. O conforto térmico em uma academia é essencial para um melhor desempenho na atividade física.

Este trabalho realiza um estudo na área de refrigeração e ar condicionado, aplicado a uma academia, localizada na cidade Belford Roxo, no estado do Rio de Janeiro. O estudo dimensiona o sistema de ar condicionado para a academia, de acordo com os cálculos de carga térmica. A seleção correta do equipamento de refrigeração ocorre com o levantamento das características e fatores como a quantidade de pessoas, iluminação, quantidade de equipamentos, insolação, condução, infiltração e renovação do ar. Para realizar o cálculo da carga térmica foram consideradas as normas ABNT e as mais utilizadas foram a nbr ABNT 16401 e 6401.

Foi selecionado o equipamento split piso teto, pelo fator de menor custo de aquisição, instalação e manutenção e melhor adequação as características e a demanda no local. As vantagens são: A capacidade de climatizar ambientes em pouco tempo, bom aproveitamento do espaço e permite que as instalações sejam feitas em várias posições.

Palavras Chave: Conforto térmico, Refrigeração, Climatização, Carga térmica.

ABSTRACT

HVAC consists of removing heat from a body or environment, with the aim of reducing its temperature bringing thermal comfort to the environment. Thermal comfort in a gym is essential for better performance in physical activity.

This work carries out a study in the area of refrigeration and air conditioning, applied to a gym, located in the city of Belford Roxo, in the state of Rio de Janeiro. The study scales the air conditioning system for the gym, according to the thermal load calculations. The correct selection of refrigeration equipment occurs with the survey of characteristics and factors such as the number of people, lighting, quantity of equipment, heat stroke, conduction, infiltration and air renewal. To perform the thermal load calculation, ABNT norms were considered and the most used ones were nbr ABNT 16401 and 6401.

Split floor-to-ceiling equipment was selected, due to the lower cost of acquisition, installation and maintenance and better adaptation to the characteristics and demand on the site. The advantages are: The ability to acclimatize environments in a short time, good use of space and allows installations to be made in various positions.

Key words: Thermal comfort, Refrigeration, Air conditioning, Thermal load.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo de Refrigeração a vapor	17
Figura 2 - Compressor	18
Figura 3 -- Esquema de um condensador resfriado a ar	19
Figura 4 - Esquema de um condensador resfriado a água	20
Figura 5 - Evaporador de serpentina aletado	20
Figura 6 - Válvula de expansão termostática	21
Figura 7 - Ar condicionado de Janela	23
Figura 8 - Tubulação de refrigerante quando a evaporadora está acima da condensadora	24
Figura 9 - Ar condicionado piso teto	25
Figura 10 - Sistema VRF	26
Figura 11 - Ar-condicionado self contained	26
Figura 12 - Sistema de ar-condicionado expansão indireta (água gelada)	27
Figura 13 - Principais propriedades representadas na carta psicrométrica	29
Figura 14 - Planta baixa da academia	34
Figura 15 - Planta em 3D da academia	34
Figura 16 - Parede composta	39
Figura 17 - Sessão do tijolo	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperaturas e umidades relativas em função da permanência	13
Tabela 2 - Componentes do ar atmosférico	28
Tabela 3 - Tabela de condição externa para o verão	35
Tabela 4 - Condições externas para o verão	36
Tabela 5 - Resistência térmica superficial interna e externa.	37
Tabela 6 - Densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico de materiais.	39
Tabela 7 - Densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico de materiais.	40
Tabela 8 - Gradiente de temperatura em função das variáveis relativa a própria temperatura	41
Tabela 9 - Gradiente de temperatura em função das variáveis relativa a própria temperatura	41

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	CONFORTO TÉRMICO	14
2.2	REFRIGERAÇÃO	16
2.3	ASPECTOS CONCEITUAIS E CARACTERÍSTICAS DE AR-CONDICIONADO	23
2.4	SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO	24
2.5	PSICROMETRIA	28
2.6	CARGA TÉRMICA	31
3.	OBJETIVO GERAL	32
3.1	OBJETIVO GERAL	32
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
4.	JUSTIFICATIVAS	33
5.	METODOLOGIA	34
5.1	DADOS INICIAIS	34
5.2	CARGAS TÉRMICAS	37
5.3	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR	38

	11
5.4 CARGA TÉRMICA DEVIDO A INSOLAÇÃO	41
5.5 CARGAS TÉRMICAS DEVIDO A CONDUÇÃO	43
5.6 CARGAS TÉRMICAS DEVIDO A INFILTRAÇÃO	44
5.7 CARGAS TÉRMICAS DEVIDO À PRESENÇA HUMANA:	44
5.8 CARGAS TÉRMICAS DEVIDO A ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	45
5.9 CARGAS TÉRMICAS GERADA PELOS EQUIPAMENTOS	46
5.10 CARGAS TÉRMICA DE VENTILAÇÃO	46
5.11 VAZÃO TOTAL DE AR	47
6. DESENVOLVIMENTO	48
6.1 CALCULO DA CARGA TÉRMICA	48
6.2 CALCULO DO COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	48
6.3 CALCULO DA CARGA TÉRMICA DEVIDO A INSOLAÇÃO (SUPERFÍCIE OPACA)	50
6.4 CALCULO DA CARGA TÉRMICA DEVIDO A INSOLAÇÃO (SUPERFÍCIE TRANSPARENTE)	51
6.5 CALCULO DA CARGA TÉRMICA DEVIDO A CONDUÇÃO	51
6.6 CALCULO DA CARGA TÉRMICA DEVIDO A INFILTRAÇÃO	55
6.7 CALCULO DA CARGA TÉRMICA DEVIDO A PRESENÇA HUMANA	56
6.8 CALCULO DA CARGA TÉRMICA DEVIDO A ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	56
6.9 CALCULO DA CARGA TÉRMICA GERADA PELOS EQUIPAMENTOS	56
6.10 CALCULO DA CARGA TÉRMICA DEVIDO A VENTILAÇÃO	57
6.11 CALCULO DE VAZÃO TOTAL DE AR	58
7.Custo do Projeto	58
8. Conclusão	58

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a vida saudável está associada aos aspectos comportamentais, ambientais e sociais do indivíduo. Importa considerar que se um desses fatores estiver afetado, conseqüentemente a qualidade de vida estará comprometida. As pessoas de uma forma geral têm sido acometidas pelo sedentarismo, estas, por sua vez, podem ser beneficiadas com a prática regular de atividade física. As academias tornaram-se uma opção para a população urbana, que adere ao exercício físico, com o intuito de obter melhorias em seu bem-estar (NAHAS, 2011).

A população está cada vez mais preocupada com a melhoria da qualidade de vida e essa conscientização, a respeito da importância do exercício físico, vem proporcionando um grande aumento de público nas academias de ginástica. Segundo Saba (2013), a atividade física é benéfica tanto no aspecto biológico, como também no nível psicológico. Esse autor aponta melhorias na capacidade cardiorrespiratória, aumento na expectativa de vida, entre outras, como exemplos de benefícios que a prática do exercício proporciona às pessoas. No nível psicológico, os aspectos positivos relacionam-se ao aprimoramento dos níveis de autoestima, da autoimagem, diminuição dos níveis de estresse e tantos outros. Os efeitos positivos sobre esses aspectos originam-se do prazer obtido na atividade realizada e posterior bem-estar, os quais resultam da satisfação das necessidades ou do sucesso no desempenho das habilidades em desafio.

O ambiente onde são realizadas as atividades físicas pode influenciar no desempenho dos alunos, e em alguns casos, prejudicar a sua saúde. Algumas variáveis são básicas e devem ser observadas na análise de um

ambiente, tais como: nível de iluminação, nível de ruído e temperatura (SOARES, MACHADO e XAVIER, 2013).

O ser humano deve conservar sua temperatura corporal constante. Existem elementos biológicos que ajudam a pessoa a manter a sua temperatura ideal, que é de $37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, isto é, entre 35°C e 39°C . Temperaturas corporais que não estão nessa faixa podem provocar sérios problemas de saúde (hipotermia e hipertermia) se não forem tomadas providências imediatas para fazer com que a temperatura volte ao seu nível ideal (IIDA, 2005).

Em casos de temperaturas altas, de acordo com Coutinho (2009), o ser humano pode apresentar alguns sintomas como: hipertermia, tontura, doenças de pele, psiconeuroses, cataratas, desidratação e desfalecimento por hipovolemia ou déficit de sódio. Sintomas como náusea, tontura, irritabilidade e sonolência são indicações de que o corpo está ficando debilitado por conta do recinto em que se acha e, também em decorrência a sua atividade.

Em conformidade com a ISO 8996 (2004), a atividade realizada em uma academia é tida como uma atividade de taxa metabólica moderada, apresentando um valor de 165 W/m^2 (variando de 130 a 200 W/m^2). Além do corpo humano desenvolver uma moderada quantidade de calor interno, o recinto pode afetar ainda mais a saúde da pessoa, e gerar consequências fisiológicas. Neste sentido, se justifica a escolha da temática já que o sistema de climatização interfere na performance dos alunos da academia.

Com base na exposição acima, este trabalho aborda o dimensionamento de um sistema de ar-condicionado para uma academia. Quanto à questão norteadora é saber como dimensionar um sistema de climatização eficaz para uma academia de médio porte.

O objetivo geral é dimensionar um sistema de climatização para uma academia de médio porte, por meio de cálculos de carga térmica e rendimento, visando conforto e baixo custo. Os objetivos específicos são levantar aspectos

relacionados a conforto térmico, refrigeração, ar-condicionado, sistemas de climatização, psicometria, e carga térmica; investigar dados sobre a estrutura física da academia, objeto de estudo, para desenvolver o projeto de dimensionamento e seleção do sistema de refrigeração mais adequado.

A metodologia de pesquisa usada é descritiva bibliográfica e de campo. Serão analisadas normas técnicas, trabalhos científicos e livros, que servirão de base para cruzar com as informações levantadas da academia de médio porte, como fluxo de pessoas, exposição ao sol, área construída, interface entre o interior e o ar livre, entre outros dados, de forma a selecionar o sistema de climatização mais adequado para a academia.

O trabalho está dividido em introdução; referencial teórico, onde são apresentados conceitos, tipos e características sobre conforto térmico, refrigeração, ar-condicionado, sistemas de climatização, psicometria, e carga térmica; metodologia de pesquisa, onde são descritos todos os passos do levantamento de dados e os cálculos realizados; apresentação de resultados; discussão de resultados; considerações finais e referências bibliográficas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONFORTO TÉRMICO

A temperatura interna do corpo humano é basicamente mantida em cerca de 37°C, com pouca variação entre 36,1°C e 37,2°C. A temperatura mais baixa é de 32°C e a temperatura mais alta é de 42°C, que é o limite superior de sobrevivência (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Entende-se como conforto térmico a condição que um indivíduo se encontra satisfeito com o ambiente onde está independente de sua vestimenta, não tem a sensação de calor ou frio. Estudos feitos por Fanger (1970) na Dinamarca, em câmaras climáticas, definiram o conforto térmico como: “uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico” (FROTA e SCHIFFER, 2001, p. 19).

Frota e Schiffer (2001) comparam o organismo humano a uma máquina térmica que produz calor em conformidade com a sua atividade, pois o homem precisa liberar calor em quantidade para que sua temperatura seja mantida na ordem de 37°C.

A conservação da temperatura interna do corpo humano é praticamente constante, em um ambiente com as piores condições de temperatura e umidade. A variação acontece por meio de seu dispositivo termorregulador, uso de ganho de comando reduzido ou perda de calor aumentada alguns mecanismos de controle (FROTA e SCHIFFER, 2001).

A regulação da temperatura, embora seja um meio natural de controle de perdas de calor corporal, significa um esforço extra e, portanto, uma queda potencial de trabalho. O organismo humano experimenta a sensação de conforto térmico quando perde para o ambiente, sem utilizar nenhum tipo de

mecanismo de regulação da temperatura corporal, o calor gerado pelo metabolismo compatível com sua atividade (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Em sistemas de ar-condicionado para o conforto de indivíduos, considera-se o tempo de permanência no ambiente. A tabela 1 aponta as temperaturas e umidades relativas em função da permanência da pessoa no recinto.

Tabela 1 - Temperaturas e umidades relativas em função da permanência

Permanência	Temperatura efetiva °F	Temperatura de bulbo seco °F	Umidade relativa %
Mais de 3 horas	73 (22,7°C)	78 (25,5°C)	55
Entre 45 minutos e 3 horas	74 (23,3°C)	80 (26,6°C)	50
Menos de 40 minutos	75 (23,8°C)	82 (27,7°C)	45

Fonte: CREDER, 2004

As condições de conforto para verão e inverno listadas acima mostram a temperatura e umidade com referências em pesquisas realizadas com pessoas que usam roupas comuns e sofrem todos os tipos de condições de temperatura, umidade relativa e fluxo de ar, observando-se as reações diante de inúmeras condições (CREDER, 2004).

Com o uso estipulou-se a temperatura efetiva, um índice aleatório que se aplica ao corpo humano e refere-se ao nível de calor ou de frio experimentado em determinadas combinações das grandezas citadas. A temperatura efetiva é sempre menor do que a lida no termômetro de bulbo seco, somente na umidade de 100% (ar saturado) é que são iguais (CREDER, 2004).

De acordo tabela 1, pode-se notar que 98% das pessoas sentiram maior conforto no verão com a temperatura efetiva de 71 °F, e que 97% das pessoas no inverno sentiram maior conforto com 66 °F, ambas com umidades

relativas entre 70 e 30%, e movimento de ar ou turbulência entre 15 e 25 pés por minuto (4,5 a 7,5 m/min) (CREDER, 2004).

Em sistemas de ar-condicionado para o conforto de indivíduos deve-se considerar o tempo de permanência no ambiente. De acordo com Creder (2004), a finalidade dessa temperatura é evitar o choque térmico que se dá à entrada ou saída de um ambiente com ar-condicionado.

2.2 REFRIGERAÇÃO

A refrigeração é de grande relevância, ela é utilizada em residências, comércios e indústrias no geral. A refrigeração apresenta inúmeras aplicações nas atividades humanas, porém a conservação de alimento e climatizações do ambiente para conforto térmico são as mais importantes e utilizadas (SILVA, 2006).

Os componentes básicos de sistemas de refrigeração são quatro: compressor, condensador, evaporador e o dispositivo de expansão, os quais constituem o circuito frigorígeno ou circuito/sistema de refrigeração. Esses componentes em perfeitas condições e bem instalados constituem o circuito frigorígeno, conforme já mencionado, no entanto, esse circuito não funcionará se um gás não estiver contido no interior dos componentes e tubos que formam o circuito frigorígeno, e não é suficiente apenas ter o gás, pois este deve ser o correto e estar em quantidade adequada para não causar danos, em especial, no coração do circuito, que é o compressor. Castro (2010) ressalta que considerando a relevância de se ter um gás circulando de modo adequado no circuito, e se um componente básico é aquele que não deve faltar por ser básico, então, o autor trata o fluido refrigerante como um componente básico do circuito frigorígeno, totalizando cinco componentes básicos e não quatro.

Fluido refrigerante é uma substância muito importante para transferência de calor. Miller e Miller (2008) afirmam que o fluido refrigerante é uma substância que pode evaporar ou vaporar a baixas temperaturas. Quando ocorre a vaporização ou evaporação é quando o fluido refrigerante absorve

calor. O fluido refrigerante se vaporiza no interior de tubos que estão em contato, direta ou indiretamente, como meio a ser resfriado.

Castro (2010) explica que todos os fluidos são afetados pela temperatura e pressão que atuam simultaneamente. A água é um dos fluidos mais comuns para ilustrar este ponto. Ao nível do mar e em condições normais de pressão atmosférica em todos os valores de temperatura entre 0°C e +100°C, a água se encontra no estado físico líquido. Se a temperatura for reduzida abaixo de 0°C, a água congelará, mudando seu estado físico de líquido para sólido. Se a água for aquecida acima de +100°C, ferverá, passando do estado físico líquido para o estado gasoso. Caso a pressão seja diminuída, o ponto de ebulição (evaporação) diminui. Se a pressão da água for aumentada, o ponto de ebulição (evaporação) aumenta.

Uma substância pode absorver grandes quantidades de calor com um aumento de seu calor sensível se a diferença de temperatura é grande ou se o peso da substância é elevado. Entretanto, em uma mudança de estado físico, uma fração do peso necessário para absorver certa quantidade de calor sensível absorverá uma quantidade de calor latente equivalente (CASTRO, 2010).

Os sistemas de refrigeração e climatização (ar-condicionado) precisam transmitir elevadas quantidades de calor que possam repetir-se constantemente. Basicamente, qualquer líquido pode ser utilizado para absorver calor por evaporação. A água é ideal em vários aspectos, pode ser fervida a temperaturas elevadas para ser empregada em operações normais de resfriamento, e é congelada a temperaturas altas, para utilização em sistema de baixas temperaturas (CASTRO, 2010).

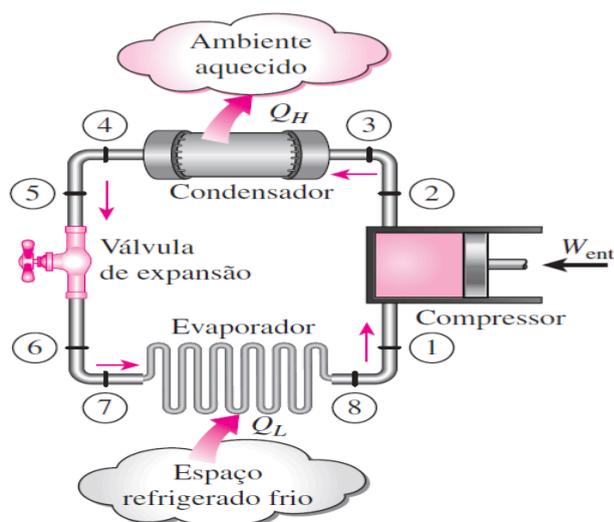
De acordo com Castro (2010), um fluido refrigerante deve atender a oito relevantes requisitos básicos:

- a) Não agredir a camada de ozônio, pois essa camada atmosférica protege as pessoas dos raios solares, funcionando como uma espécie de filtro solar.
- b) Deve absorver o calor de forma rápida à temperatura exigida pela carga térmica.
- c) O sistema deve usar o mesmo fluido refrigerante continuamente, por motivos de economia e para resfriamento constante.
- d) Não deve agredir a saúde dos seres humanos.
- e) Não deve ser inflamável nem explosivo.
- f) Ser miscível com o óleo do compressor, isto é, deve se misturar com o óleo.
- g) Ter temperaturas críticas altas.
- h) Não mudar suas condições químicas durante toda a sua vida útil.

Castro (2010) lembra que nas primeiras instalações de refrigeração utilizavam, normalmente, o amoníaco, o dióxido de enxofre, o propano, o etano e o cloreto metílico. No entanto, apenas a amônia, ou R-717, é ainda empegada. Sua aplicação é recomendada em grandes sistemas frigoríficos e industriais, mas fora do perímetro urbano, e somente equipes treinadas devem manuseá-la, tendo em vista que o contato com essa substância pode ser mortal caso não sejam usados equipamentos de proteção apropriados.

Segundo Çengel e Ghajar (2012), a finalidade do sistema de refrigeração é conservar um recinto com a temperatura menor que o ambiente ao seu redor. Pode-se dizer também que o ciclo de refrigeração é o mesmo que um ciclo termodinâmico. O sistema é composto por quatro equipamentos básicos que são o evaporador, condensador, compressor e válvula de expansão, conforme já dito anteriormente.

Figura 1 - Ciclo de Refrigeração a vapor



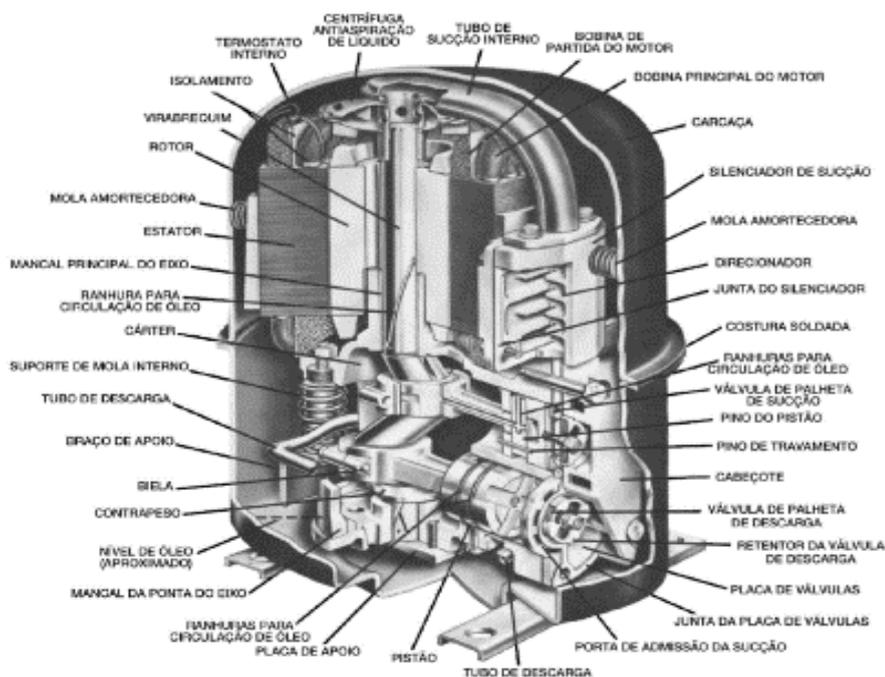
Fonte: ÇENGEL e GHAJAR, 2012

Inicialmente, o evaporador recebe a mistura (líquido + vapor), a parte do líquido é transformada em vapor. A parte do superaquecimento é de extrema importância tendo em vista que o líquido no compressor pode causar danos irreversíveis. O evaporador também pode ser considerado um trocador de calor, pois tem a função de transferir o calor do fluido a ser refrigerado para o fluido refrigerante. Após passar pelo evaporador o fluido refrigerante no estado de vapor entra no compressor onde é comprimido a elevadas temperaturas e pressões. A função do compressor é promover ao fluido refrigerando uma temperatura maior à temperatura do fluido a ser aquecido no condensador. No condensador, o fluido refrigerante perde calor para o fluido externo e condensa. Por fim, o fluido passa pelo dispositivo de expansão que tem a função de diminuir a pressão e, conseqüentemente, a temperatura (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

Vale tecer uma abordagem de forma sucinta sobre os quatro componentes básicos de um sistema de refrigeração, tendo em vista que Castro (2010) considera um quinto componente, o fluido refrigerante, que já foi falado. Então, serão vistos os demais componentes.

O compressor (figura 2) promove a circulação do fluido refrigerante ao mesmo tempo com os outros elementos. O modo da compressão pode ser alternativo, centrífugo ou rotativo. Os compressores mais usados na refrigeração industrial são: alternativos, rotativos parafusos, de paletas e centrífugo (MILLER e MILLER, 2008).

Figura 2 - Compressor

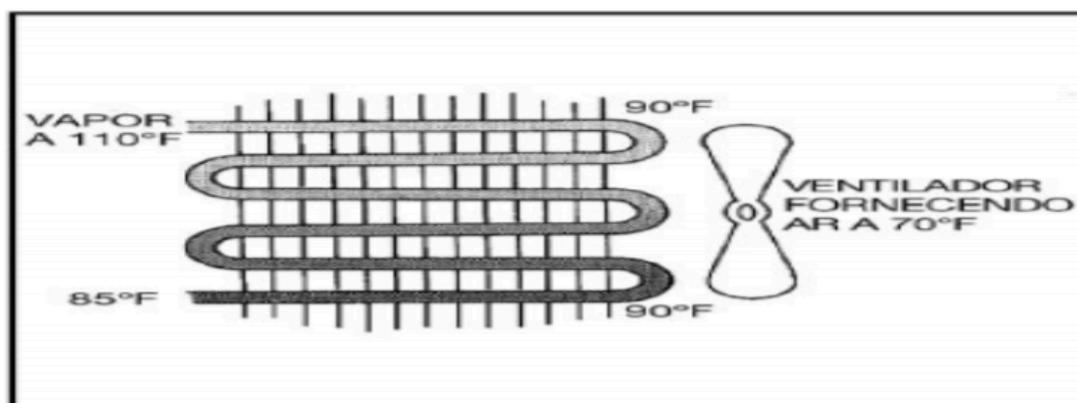


Fonte: MILLER e MILLER, 2008

Os condensadores são equipamentos que tem a função de liberar o calor absorvido no evaporador e no processo de compressão. Podem ser de dois tipos condensados a água ou condensados a ar (SILVA, 2006).

O condensador resfriado a ar (figura 3), em geral, eles são do tipo aleta e tubo. Ele contém o fluido refrigerante no interior dos tubos e o ar escoando em contato direto sobre o exterior. Normalmente, o ventilador força o ar sobre a serpentina, fazendo com que a sua capacidade de resfriamento aumente (MILLER e MILLER, 2008).

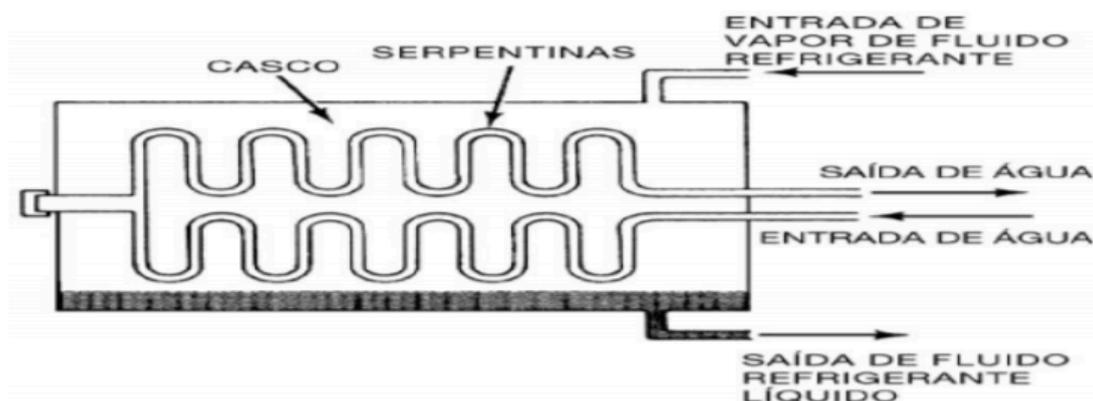
Figura 3 -- Esquema de um condensador resfriado a ar



Fonte: MILLER e MILLER, 2008

No tipo de condensador resfriado a água (figura 4), o fluido é resfriado através da água nas tubulações. No interior da tubulação é colocada uma carcaça que contém um fluido refrigerante aquecido, então, o calor é transferido do fluido refrigerante através da tubulação para água (MILLER e MILLER, 2008).

Figura 4- Esquema de um condensador resfriado a água

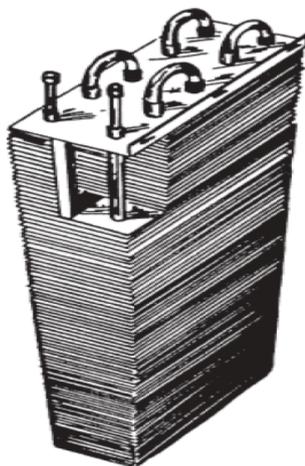


Fonte: MILLER e MILLER, 2008

O evaporador (figura 5) é um trocador de calor que tem o objetivo de fazer a troca de calor no interior do ambiente, ou seja, ele absorve o calor do fluido refrigerante do ambiente, nesse processo o gás que está no estado

líquido entra em processo de ebulição com o calor absorvido do ambiente e muda para fase gasosa (MILLER e MILLER, 2008).

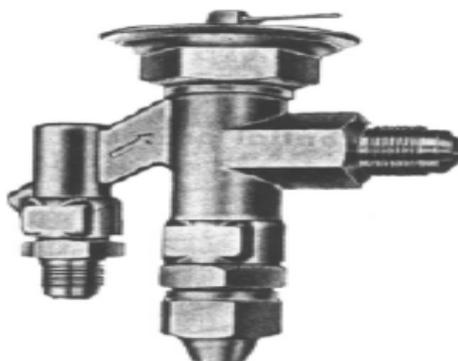
Figura 5- Evaporador de serpentina aletado



Fonte: MILLER e MILLER, 2008

Quanto aos dispositivos de expansão mais usuais são as válvulas de expansão automáticas e válvulas de expansão termostáticas. Esse tipo de dispositivo tem a função de reduzir a pressão e controlar o fluxo do fluido refrigerante liquefeito no evaporador para o condensador. O dispositivo mais usado nos equipamentos de refrigeração e climatização comercial é a válvula de expansão termostática (figura 6) (CASTRO, 2010).

Figura 6- Válvula de expansão termostática



Fonte: MILLER e MILLER, 2008.

2.3 ASPECTOS CONCEITUAIS E CARACTERÍSTICAS DE AR-CONDICIONADO

O condicionamento de ar refere-se a um processo de tratamento do ar interior em espaços fechados, e tem como propósito controlar de forma simultânea a temperatura, a velocidade, a renovação, a umidade e a qualidade do ar de um determinado ambiente. Em certas situações, realiza-se também o controle do nível de pressão interna do ambiente relacionado aos ambientes vizinhos (ABNT, 2008).

A qualidade do ar interior é controlada pelo sistema de ar-condicionado através da renovação por ar exterior e pela filtragem de todo o ar insuflado. A renovação diminui a concentração no ambiente de poluentes gasosos, biológicos e químicos, que não são retidos nos filtros. A função da filtragem do ar é diminuir a concentração no ambiente de poluentes trazidos do ar exterior e os gerados na parte interna, os quais são levados pelo ar recirculado, evitando, assim, acúmulo no sistema. A manutenção em sistemas de ar-condicionado é fundamental, objetivando a conservação e o rendimento dos equipamentos, além do padrão higiênico mínimo nas instalações (ABNT, 2008).

O principal objetivo do condicionador de ar é deixar os ambientes com temperaturas agradáveis propiciando um conforto térmico (aquecendo ou refrigerando) ou em locais em que seu uso é essencial, como, por exemplo, hospitais, laboratórios, centros de processamento de dados (CPD) (ABRAVA, 2018).

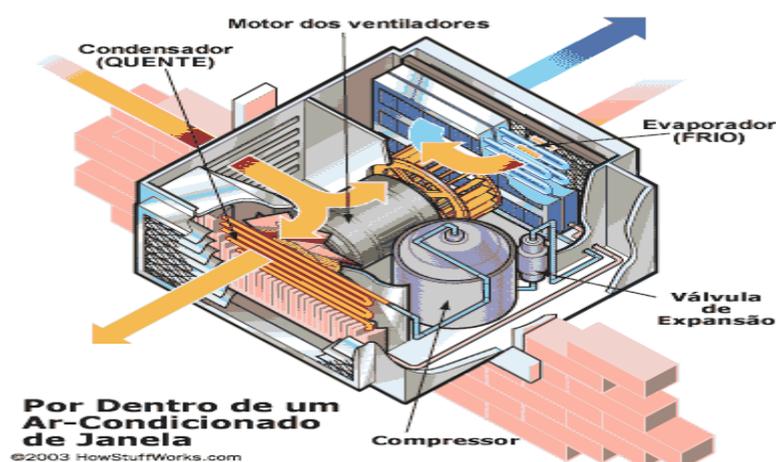
O princípio de funcionamento dos condicionadores de ar refere-se à troca de temperatura do ambiente, por meio da passagem do ar pela serpentina do evaporador que por contato apresenta queda ou aumento de temperatura, isso depende do ciclo usado (quente ou frio), baixando a umidade

relativa do ar. Quando a temperatura desejada é atingida se realiza uma leitura por meio de um sensor localizado no evaporador que por sua vez desliga o compressor, isso faz com que o equipamento mantenha a temperatura. Qualquer variação na temperatura fixada aciona-se novamente o compressor, que é responsável pela circulação do gás refrigerante dentro do sistema (ABRAVA, 2018).

2.4 SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

São vários os tipos e equipamentos de ar-condicionado, porém serão relacionados apenas os principais. O ar-condicionado de janela (figura 7), como o próprio nome diz, é para ser colocado na abertura da parede ou janela, é voltado para ambientes pequenos. São mais compactos, a condensadora e a evaporadora se acham no mesmo gabinete e o seu uso é indicado para residências (ABRAVA, 2018).

Figura 7- Ar condicionado de Janela

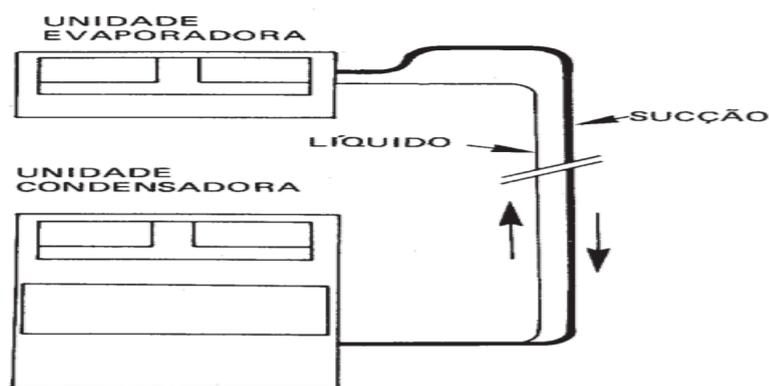


Fonte: SILVA e DAMIÃO, 2018

O tipo split de ar-condicionado é formado por duas unidades, a que se situa no ambiente interno (evaporadora) e a outra que fica no ambiente externo

(condensadora), que também é indicado para residências (figura 8). O tipo split cassete possui até quatro vias para a saída do ar e, em geral, é instalado embutido no teto ou no forro (figura 9), também é voltado para residências. O modelo multi-split são parecidos aos tipos de split convencionais, no entanto, pode ter duas ou mais evaporadoras com somente uma condensadora. É recomendado para uso residencial para refrigerar mais de um ambiente simultaneamente, e comércios de pequeno e médio porte. O modelo portátil é voltado para pequenos ambientes ou para usuários que queiram mobilidade. É necessário um acesso para descarga de ar quente para o exterior e indicado para uso em residências (ABRAVA, 2018).

Figura 8- Tubulação de refrigerante quando a evaporadora está acima da condensadora



Fonte: CARRIER, 2020

Figura 9- Ar condicionado piso teto



Fonte: DUFRIIO, 2020

O modelo *variablerefrigerantflow* (VRF) ou volume de refrigerante variável (figura 10) apresenta um sistema multi-split com apenas uma unidade externa ligada a múltiplas unidades internas trabalhando individualmente por ambiente. É voltado para edifícios comerciais de médio e grande porte. O *self contained* ou compacto (figura 11) refere-se à unidade de tratamento de ar com serpentinas de resfriamento de expansão direta conjugada a uma unidade condensadora, resfriada a ar ou a água. O condicionador é previsto para insuflação do ar por dutos. É indicado para residência e comercial (ABRAVA, 2018).

Figura 10 - Sistema VRF



Fonte: DUFRIIO, 2020

Figura 11 - Ar-condicionado self contained



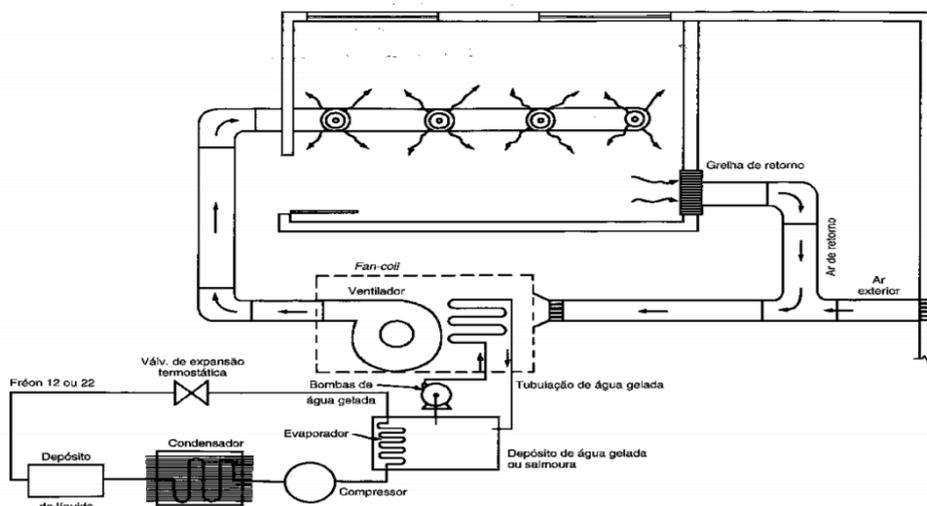
Fonte: CLIMA FRIO, 2020

O tipo *fancoil* ou água gelada (figura 12), onde os condicionadores de ar usam água gelada em seu sistema de resfriamento. Os modelos desse tipo podem ser de gabinete, cassete, *hi-wall*, *built-in*. São operadas com uma unidade externa, denominada de central de água gelada (CAG), tendo um resfriador de líquido (*chiller*). As dimensões variam em conformidade com sua capacidade. Esse sistema é voltado para uso comercial. O sistema de central de água gelada (CAG) é formado por resfriadores de líquido (*chiller*) e bombas

hidráulicas para fornecimento de água gelada para os *fancoils* (ABRAVA, 2018).

Figura 12 – Sistema de ar-condicionado expansão indireta (água gelada)

Figura 12 - Sistema de ar-condicionado expansão indireta (água gelada)



Fonte: MILLER e MILLER, 2018

O sistema de torre de resfriamento ou torre de arrefecimento é um dispositivo de remoção de calor utilizado para transferir calor residual de processo para a atmosfera. O equipamento é interligado ao *self* ou a CAG (ABRAVA, 2018).

2.5 PSICOMETRIA

Psicometria é um termo derivado do grego, que significa estudo do clima. Na parte de climatização e refrigeração há um interesse específico de conhecer as características e processos psicométricos sofridos pelo ar. Para facilitar a compreensão, serão usadas cartas psicométricas, as quais são relevantes ferramentas para ajudar os profissionais de refrigeração e ar

condicionado. Silva (2006) enfatizou que devem ser empregadas cartas psicométricas corretas para cada local, porque a construção delas depende da pressão atmosférica.

O ar atmosférico é uma mistura de vários gases, umidade e alguns poluentes. A composição do ar seco é relativamente constante, deixando de lado a parte dos poluentes. Para facilitar a pesquisa o ar é dividido em duas partes: ar seco e ar úmido. O ar úmido é a parte que contém vapor de água dissolvido em sua composição e o ar seco é a parte que não contém vapor (SILVA, 2006).

O ar seco é uma mistura de vários componentes como oxigênio, nitrogênio, argônio e dióxido de carbono (tabela 2), entre outros componentes (SILVA, 2006).

Tabela 2 - Componentes do ar atmosférico

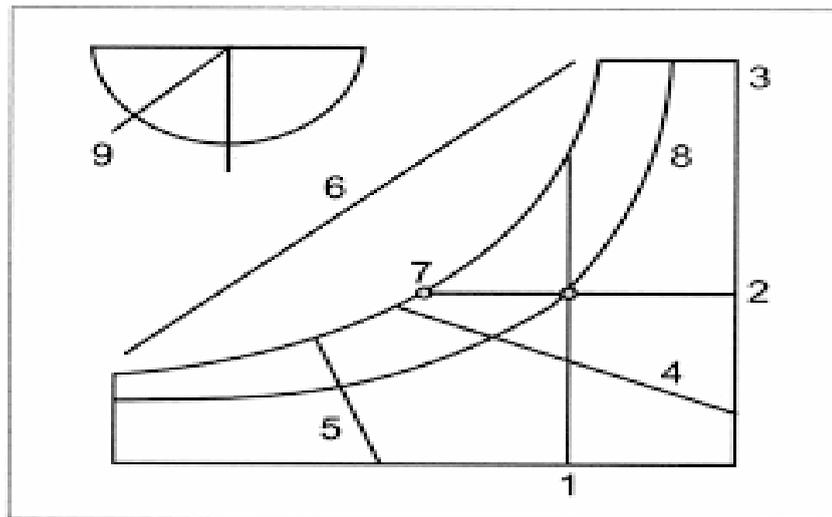
Componente	Fração molar ou proporção (%)	Massa Molecular (mol)
Oxigênio (O_2)	20,95	32,00
Nitrogênio (N_2)	78,09	28,02
Argônio (Ar)	0,93	39,94
Gás Carbônico (CO_2)	0,03	44,01

Fonte: ASHRAE HANDBOOK apud SILVA, 2006

As cartas psicométricas são representações das propriedades psicométricas do ar. A utilização da carta permite analisar graficamente os processos psicométricos que envolvem a climatização (SILVA, 2006). A figura 13 apresenta o esquema de uma carta típica.

Figura 13 - Principais propriedades representadas na carta psicrométrica

Figura 13- Principais propriedades representadas na carta psicrométrica



Fonte: SILVA, 2006

A explicação de cada linha ou escala é dada a seguir por Silva (2006):

1. Temperatura de bulbo seco (TBS) indicada na carta por linhas retas verticais.
2. Umidade absoluta representado por linhas horizontais (kgv/kga).
3. Escala de umidade absoluta.
4. Temperatura de bulbo úmido (TBU); a escala de TBU está localizada na linha de saturação na extremidade da carta. A sua unidade é °C;
5. Volume específico (v); sua unidade é $\frac{m^3}{kga}$;
6. Entalpia específica (h): sua unidade é KJ/kg de ar seco e seu símbolo é "h";
7. Temperatura de ponto de orvalho (Torv) – na linha de saturação: sua unidade é °C;
8. Umidade relativa (ϕ): expressa em porcentagem;

9. Escala referente ao fator de calor sensível (FCS).

As principais propriedades do ar são: temperatura de orvalho, umidade relativa, umidade absoluta, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, entalpia e pressão de saturação. A temperatura de orvalho é a temperatura em que o vapor de água da atmosfera fica saturado e tem uma importância grande, pois é com base nela que se faz o cálculo das espessuras de isolamento adequadas para os dutos, as câmaras frigoríficas e os refrigeradores domésticos. Então, se o isolamento não for bom existirá uma temperatura superficial externa a da parede da câmara muito baixa e, dessa forma, existirá condensador do vapor de água presente no ar sobre esta superfície (SILVA, 2006).

A umidade relativa é a relação entre pressão parcial de vapor de água presente no ar e a pressão saturada do mesmo a mesma temperatura. Ocorre a pressão de saturação quando se tem o vapor de água máximo dissolvido em água a uma dada temperatura. A umidade absoluta é a relação da massa de vapor de água, que contém no ar e na massa de vapor seco, de maneira simplificada é a quantidade de vapor de água dissolvida em kg de ar seco (SILVA, 2006).

A temperatura de bulbo seco é a temperatura medida por um termômetro comum com proteção contra radiação. Pode-se medir a temperatura de bulbo úmido colocando dois termômetros um deles com o bulbo coberto por uma mecha molhada em uma corrente de ar em movimento rápido esse termômetro com o bulbo coberto terá sua temperatura caindo rapidamente e, depois lentamente até que atinja o ponto estacionário, então, faz-se a leitura da temperatura que se chama de TBU. A TBU sempre será menor que TBU do ar devido a umidade da mecha remover o calor do bulbo para evaporar e, conseqüentemente, reduzindo a temperatura do termômetro (SILVA, 2006).

A entalpia específica é, geralmente, utilizada para indicar o nível de energia de uma substância. A variação da entalpia na psicometria é envolvida nos processos de tratamento de ar. Se ocorre uma transformação através da transferência de energia térmica somente, pela primeira lei da termodinâmica, é possível obter a variação de entalpia como sendo a igual a variação de calor acrescentado ou removido. O volume específico pode ser definido como o volume ocupado pela mistura de ar (ar seco + vapor), por unidade de massa. Pode-se entender também o volume específico como o inverso da massa específica e, pode ser calculado através da modificação da equação dos gases perfeitos ou pela carta psicrométrica (SILVA, 2006).

2.6 CARGA TÉRMICA

A carga térmica representa a quantidade de calor sensível e latente, em geral expressa em BTU/h ou kcal/h¹, que deve ser retirada ou colocada no recinto com a finalidade de propiciar as condições de conforto desejadas. A carga térmica pode ser inserida no ambiente por meio de condução, insolação, dutos, pessoas, equipamentos, infiltração e ventilação (CREDER, 2004).

Após conhecer a carga total térmica decorrente da condução, insolação, dutos, pessoas, equipamentos, infiltração e ventilação, e adicionando-os, tem-se o somatório de calor sensível e calor latente a retirar ou inserir do ambiente para conseguir as condições de conforto desejadas. Ao somar ambos, tem-se o calor total. Creder (2004) afirma como medida de segurança para atender às penetrações eventuais de calor no ambiente, deve acrescentar mais 10% aos cálculos. Geralmente, se quer o resultado em toneladas de refrigeração, por isso divide-se por 12.000 o total de BTU/h, por 3,52 o total de kW ou por 3.024 kcal/h o total de kcal/h (CREDER, 2004).

¹Pelas unidades SI, a carga térmica, que é potência, seria em watts ou kW, porém Creder (2004) prefere manter a kcal/h por razões de fabricação dos equipamentos.

Quanto ao cálculo de cargas térmicas externas são consideradas praticamente a temperatura de ar exterior e a radiação solar que causa um fluxo de calor pelas paredes externas e coberturas; a temperatura dos espaços no entorno provocam um fluxo de calor para o ambiente condicionado ou dele retirando calor e ganho de calor solar, decorrente da radiação direta ou indireta, pelos vidros e portas. Os elementos que devem ser levantados são: orientação e dimensão dos ambientes; características dos materiais do piso, paredes e teto, forro falso e vidros das janelas e portas; tamanho e utilização do espaço a ser condicionado; condições externas do ambiente e condições dos ambientes adjacentes (SILVA e DAMIÃO, 2018).

Em relação ao cálculo de carga térmica interna é gerado no interior do recinto e é de muita relevância planejar detalhadamente às decisões do projeto. Os elementos levantados são: presença humana; sistema de iluminação; motores e equipamentos; e vazão exterior do ar (SILVA e DAMIÃO, 2018).

3. OBJETIVO GERAL

3.1 OBJETIVO GERAL

Dimensionar e selecionar, através de cálculos de carga térmica e rendimento, um sistema de climatização para uma academia de médio porte, visando a máxima eficiência com o menor custo.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Levantar informações relacionadas a estrutura física da academia. São elas:

- a) Área construída

- b) Layout do espaço
- c) Exposição ao sol
- d) Quantidade de aparelhos

Com estas informações, serão aplicadas algumas normas ABNT NBR 16401, ABNT NBR 6401 e conceitos da literatura científica específica para desenvolver o projeto seguindo os passos a seguir:

- I) Calcular as cargas térmicas relacionadas as informações levantadas sobre a estrutura da academia e obter a carga térmica necessária para o projeto.
- II) Selecionar o equipamento que atenda o ambiente da forma mais eficiente
- III) Custo do Projeto

4. JUSTIFICATIVAS

O trabalho é justificado pela necessidade de adequação térmica do ambiente no qual o objetivo é o conforto térmico dos ocupantes.

A termorregulação é a forma natural de controle de perdas de calor pelo organismo, caracteriza um esforço extra e, por conseguinte, uma diminuição de potencial de trabalho, ou seja, o objetivo para o qual o local foi idealizado, estando na atual situação, perde relativamente sua funcionalidade, tornando-o incomodo para as pessoas ali presentes, limitando o conforto dos ocupantes (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Este trabalho será importante para o desenvolvimento do aluno sobre os estudos e projetos de condicionamento de ar para o desenvolvimento profissional futuro.

5. METODOLOGIA

A metodologia desse trabalho se baseia em calcular toda carga térmica considerando as cargas externas e internas através das normas ABNT e livros para que seja feita a escolha do melhor tipo de ar condicionado para conforto térmico da academia.

5.1 DADOS INICIAIS

O local a ser climatizado é uma academia localizada em no bairro da Prata em Belford Roxo.

Figura 14 - Planta baixa da academia

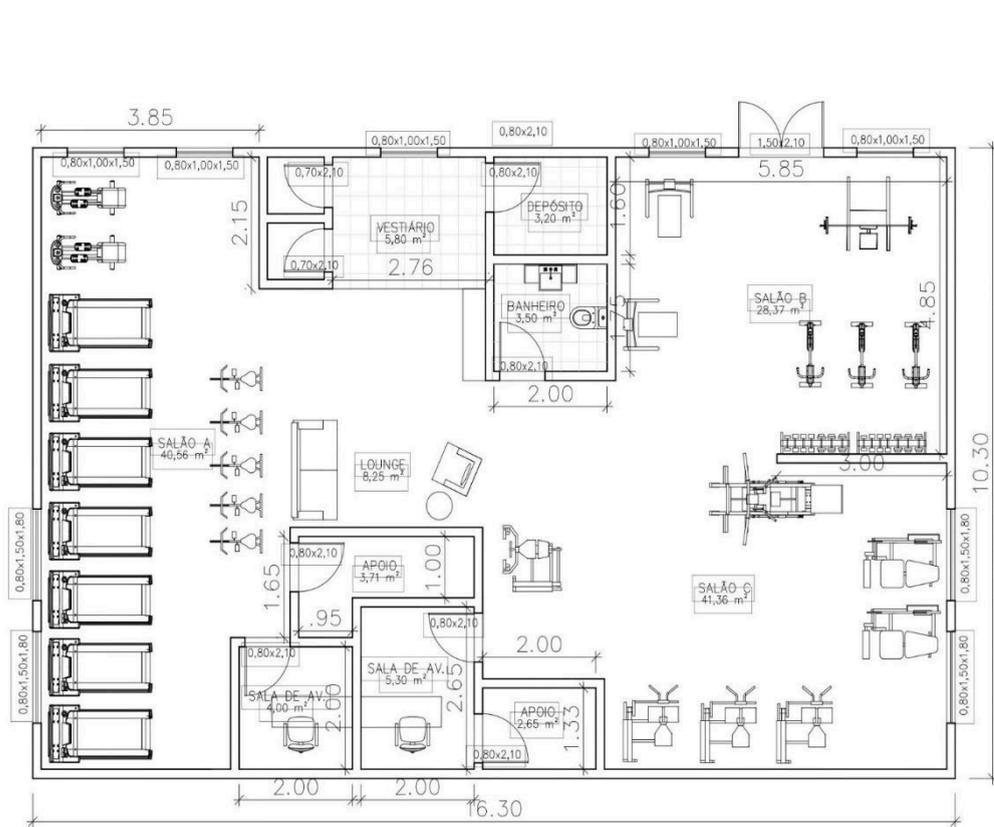




Figura - Planta em 3D da academia

O ambiente a ser climatizado é uma academia de $167,89 m^2$, com capacidade máxima de 50 pessoas. A academia é composta por um banheiro, vestiário, deposito, duas salas de avaliação, lounge, salão A, salão B e salão C.

Os equipamentos

Salão A são: sete esteiras, dois transpor e cinco bicicletas.

Salão B: três desenvolvimentos de ombro articulado, dois bancos supino declinado, um supino reto inclinado e um suporte para agachamento livre.

Salão C: Cadeira extensora, cadeira flexora, cadeira adutora, cadeira abductora, legpress 90° , supino reto articulado, hackmachine, afundo sissy e gravitation.

A academia tem as paredes de fachada (leste e norte) construídas com 15 cm de espessura e as paredes pintadas em tom claro, às paredes (oeste e sul) são internas e espessura de 150 mm. O teto é construído em concreto com 500 mm de espessura e não possui nenhum tipo de cobertura contra os raios solares.

5.2 CARGAS TÉRMICAS

Para a escolha da temperatura externa foi usada a norma NBR 6401. De acordo com a tabela 3 selecionamos a temperatura máxima da cidade do RJ, sendo a mais próxima da cidade que se localiza a academia.

Tabela 3 - Tabela de condição externa para o verão

Cidades	TBS	TBU	Temperatura Max
Região Sudeste			
Vitoria (ES)	33	28	36,1
Belo Horizonte (MG)	32	24	35,5
Uberlândia (MG)	33	23,5	37,6
Rio de Janeiro (RJ)	35	26,5	39,4
São Paulo (SP)	31	24	34,9
Santos (SP)	33	27	37,7
Campinas (SP)	33	24	37,4
Pirassununga (SP)	33	24	37,8

Fonte: NBR 6401

Para definirmos a temperatura interna do ambiente utilizamos a norma ABNT 6401. De acordo com a tabela 4 selecionamos a TBS como parâmetro para temperatura mínima $T_i=24^{\circ}\text{C}$ com finalidade de locais em movimento, considerando o mais próximo de uma academia.

Tabela 4 - Condições externas para o verão

Finalidade	Local	Recomendável		Máxima	
		(A) TBS ($^{\circ}\text{C}$)	(B) UR (%)	(A) TBS ($^{\circ}\text{C}$)	(B) UR (%)
Locais com reunião com movimento	Boates Salão de Beleza	24 a 26	40 a 65	27	65



Fonte: NBR 6401

5.3 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Pode-se calcular o coeficiente de transferência de calor através da equação abaixo:

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

Onde:

U: Coeficiente global de transferência de calor

R_t : Resistencia total da parede

Calculo da Resistencia total da parede " R_t "

Resistencia total:

$$R_t = R_e + R_p + R_i$$

Onde:

R_p : Resistencia da parede

R_e : Resistencia superficial externa

R_i : Resistencia superficial interna

Através da tabela 5 obtemos o valor de R_e e R_i s

Tabela 5 - Resistencia térmica superficial interna e externa.

$R_{si} (m^2 \cdot K)W$			$R_{se} (m^2 \cdot K)W$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizonta l	Ascendent e	Ascendent e	Horizontal	Ascendente	Ascendente
→	— ↑	↓ —	→	— ↑	↓ —
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220

Resistencia Térmica da Parede “ R_p ”

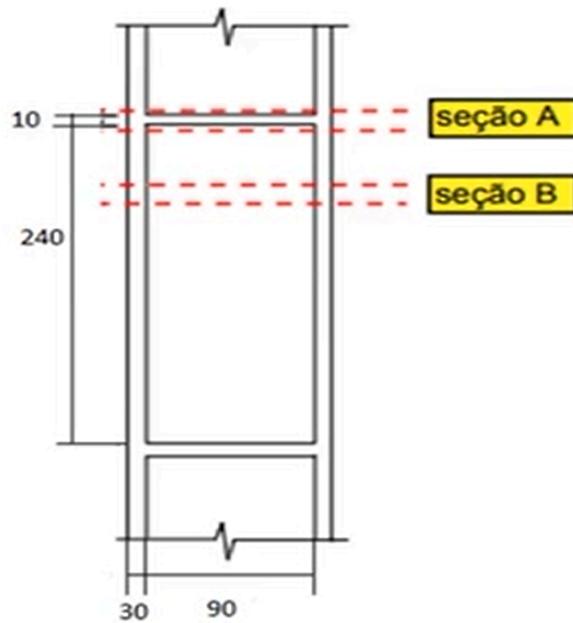
$$R_p = \sum_{n=1}^j \frac{A_{sessão}}{\frac{A_{sessão}}{R_{sessão}}}$$

$$R_p = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}$$

Para calcula o R_t da parede consideramos que a parede é composta de “meia vez” (tijolos 6 furos na posição vertical, 90mm de largura) e que espessura do reboco em ambos os lados seja de 30mm.

Seguindo o modelo da figura abaixo:

Figura 16 - Parede composta



Como podemos observar na figura temos a espessura da argamassa de 10 mm, comprimento do tijolo 240 mm e sua largura de 90 mm e a espessura do reboco 30mm de cada lado.

$$R_{\text{sessão}} = \frac{L}{K}$$

Onde:

Sessão A (reboco+argamassa+reboco)

$$R_a = \frac{L_{\text{reboco}}}{K_{\text{reboco}}} + \frac{L_{\text{argamassa}}}{K_{\text{argamassa}}} + \frac{L_{\text{reboco}}}{K_{\text{reboco}}}$$

Através da tabela 6 obtemos o valor de K.

Tabela 6 - Densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico de materiais.

Material	ρ (Kg/m ³)	λ (W/m.K)	C (KJ/Kg.K)
Argamassas			
Argamassa comum	1800 a 2100	1,15	1
Argamassa de gesso	1200	0,7	0,84
Argamassa celular	600 a 1000	0,4	1

Fonte: NBR 15220

Seção B (reboco+parede+reboco)

$$R_b = \frac{L_{reboco}}{K_{reboco}} + \frac{L_{argamassa}}{K_{argamassa}} + \frac{L_{reboco}}{K_{reboco}}$$

Através da tabela 7 obtemos o valor de K.

Tabela 7 - Densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico de materiais.

Material	ρ (Kg/m ³)	λ (W/m.K)	C (KJ/Kg.K)
Cerâmicas			
Tijolos e telhas de barro	1000 a 1300	0,7	0,92
	1300 a 1600		

Fonte: NBR 15220

5.4 CARGA TÉRMICA DEVIDO A INSOLAÇÃO

Para o cálculo da carga térmica devido a insolação existem diversos métodos que se baseiam em tabelas e gráficos para o cálculo e neste trabalho adotaremos a tabela e a formulação do TRANE.

$$Q = A \times U \times \Delta T$$

Onde:

Q: Calor ganho por insolação (W)

A: Área da superfície opaca (m^2)

U: Coeficiente Global de transferência de Calor

ΔT_{eq} : Gradiente de temperatura ou temperatura equivalente
(TABELADO)

- **Para Parede**

Para obter o ΔT_{eq} para superfícies opacas temos a tabela 8 abaixo:

Tabela 8 - Gradiente de temperatura em função das variáveis relativa a própria temperatura

Valores para Δt de Superfícies Opacas								
Cores: Alumínio e Branco								
Direção de Face								
Hora	SE	L	NE	N	NO	O	SO	Telhado Metálica
8								
9	3,3	4,4						
10	4,4	7,4	3,3					3,9
11	2,8	6,1	3,9					7,8
12		3,9	2,8					10,5
13			0,5					12,2
14								12,8
15					0,5			12,2
16					2,8	3,9		10,5
17					3,9	6,1	2,8	7,8
18					3,3	7,2	4,4	3,9
19					1,1	4,4	3,3	

20							
----	--	--	--	--	--	--	--

Fonte: TRANE AIR CONDITIONING

- **Para superfícies transparentes**

O vidro é do tipo comum de 3 mm onde o $U = 5,79 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$.

Para obter o ΔT_{eq} para superfícies opacas temos a tabela 4 abaixo:

Tabela 9 - Gradiente de temperatura em função das variáveis relativa a própria temperatura

Valores para Δt de Superfícies Transparentes								
Condição: Sem Proteção contra Sol / Com Cortinas Escuras								
Direção de Face								
Hora	SE	L	NE	N	NO	O	SO	Clarabóia
6	24,2	26	11					2,2
7	62	74	39					25
8	70	96	58					65
9	50	86	60					98
10	22	58	48	3,9				124
11	1,1	20	16,8	8,9				136
12			5	10,6	5			143
13				8,9	26,8	20	1,1	136
14				3,9	48	58	22	124
15					60	86	50	98
16					58	96	70	65
17					39	74	62	25
18					11	26	24,2	2,2

Fonte: TRANE AIR CONDITIONING

5.5 CARGAS TÉRMICAS DEVIDO A CONDUÇÃO

$$Q = \frac{\Delta T}{R_t}$$

Onde:

ΔT : Diferença de temperatura entre os ambientes

R_t : Resistencia total da parede (veremos abaixo que o cálculo da R_t para condução é diferente da insolação)

Resistencia total da parede:

$$R_p = \frac{L}{K \cdot A}$$

5.6 CARGAS TÉRMICAS DEVIDO A INFILTRAÇÃO

$$q = (h_e - h_i) \times \rho \times Q$$

Onde:

h_e : Entalpia do ar externo

h_i : Entalpia do ar interno

ρ : Densidade do ar (tabelado)

Q: Vazão do ar que passa pelas frestas

Tabela 10 - Vazão do ar pelas janelas

Tipo de abertura	Observação	m ³ /h por metro de fresta
Janelas comuns		3
Portas	Mal ajustada	13
	Bem ajustada	6,5

Fonte NBR: 6401

5.7 CARGAS TÉRMICAS DEVIDO À PRESENÇA HUMANA:

$$Q = N \times (q_s + q_l)$$

Considerando a ocupação máxima de 50 pessoas, através da tabela 11 utilizamos o valor do calor total para a atividade praticando esporte de 585 W.

Tabela 11 - Taxas típicas de calor liberado por pessoas

Nível de atividade	Local	Calor Total (W)		Calor Sensível (W)	Calor Latente (W)
		Homem adulto	Ajustado M/F		
Sentado no teatro, noite	Teatro noite	115	105	70	35
Sentado, trabalho leve	Escritórios, hotéis	130	115	70	45
Dançando moderadamente	Salão de Baile	265	250	90	160
Caminhando, parado em pé	Farmácia, agências	160	145	75	70
Atividades moderadas em trabalhos de escritório	Escritórios, hotéis, apartamentos	140	130	75	55
Jogando boliche	Boliche	440	425	170	255
Praticando esportes	Ginásio, academia	585	525	210	315

Fonte: NBR 16401

5.8 CARGAS TÉRMICAS DEVIDO A ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

A conversão de energia elétrica em luz gera calor sensível. Esse calor é dissipado, por radiação, para as superfícies circundantes, por condução, através dos materiais adjacentes, e por convecção para o ar.

$$Q = \text{Potencia total das lampadas} \times \text{fator de reator}$$

Considerando cada ambiente:

- SALA A com 3 lâmpadas fluorescente de 150W
- SALA B com 2 lâmpadas fluorescente de 150 W
- SALA C com 3 lâmpadas fluorescente de 150 W
- Banheiro com 1 lâmpada fluorescente de 40 W
- Deposito com 1 lâmpada fluorescente de 40 W
- Vestiário com 1 lâmpada fluorescente de 75W
- Sala de Av 1 com 1 lâmpada fluorescente de 75 W

- Sala de Av 2 com 1 lâmpada fluorescente de 75 W
- Lounge com 1 lâmpada fluorescente de 100 W

5.9 CARGAS TÉRMICAS GERADA PELOS EQUIPAMENTOS

Equipamento	Quantidade	Potência (W)
Esteira	7	6524,91
Computador + Impressora	2	150
Tv em cores	32	20
Aparelho de som médio	33	110

Consideramos o valor de potência gerada pelo motor de cada esteira e o Aparelho de som, notebook e impressoras não constam na planta mais devem ser considerados para o cálculo da carga térmica

5.10 CARGAS TÉRMICA DE VENTILAÇÃO

Para calcular a carga térmica da ventilação temos que calcular o calor sensível do ar externo através da equação abaixo:

$$q = \rho_{ar} \times C_{p,ar} \times Q \times (T_e - T_i)$$

Onde:

ρ_{ar} : Massa específica do ar

$C_{p,ar}$: Calor específico do ar a pressão constante em função da temperatura

Q : Vazão do ar externo

T_e : Temperatura do ar externo

T_i : Temperatura do ar interno

Iremos calcular a vazão do ar externo conforme a NBR 16401-3:2008 que estabelece as condições de vazão de ar por pessoa que ocupa o recinto e por metro quadrado de instalação.

$$Q = \frac{f_p \times N + f_a \times A}{1000}$$

Através da tabela 12 obtemos o valor de f_p e f_a

Tabela 12 - Taxa de renovação do ar

Local	D Pessoas/ 100 m ²	Nível 1		Nível 2		Nível 3	
		Fp L/s * Pessoas	Fa L/s*m ²	Fp L/s * Pessoas	FaS L/s*m ²	Fp L/s * Pessoas	Fa L/s*m ²
Esportes							
Boliche-área do publico	40	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9
Ginásio coberto (área do público)	150	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5
Ginásio coberto (quadra)	-	-	0,3	-	0,4	-	0,5
Piscina Coberta	-	-	2,4	-	3	-	3,6
"Fitness Center" (aeróbico)	40	10	0,3	15	0,4	15	0,5
"Fitness Center" (aparelhos)	10	5	0,6	7,5	0,8	7,5	0,9

Fonte: NBR 16401

5.11 VAZÃO TOTAL DE AR

É necessário calcular a vazão total de ar para atender a carga térmica calculada.

$$Q = \frac{\text{Carga Térmica do ambiente} \times 0,8594}{0,29 \times (T_i - T_e)}$$

Onde:

T_i : Temperatura da interna do recinto

T_e : Temperatura de insuflamento

6. DESENVOLVIMENTO

6.1 CALCULO DA CARGA TÉRMICA

O Objetivo principal deste trabalho é calcular a carga térmica da academia, de acordo com as normas adotadas, para então selecionar um ar condicionado que atenda a carga térmica calculada.

6.2 CALCULO DO COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Para calcular o coeficiente global de calor, primeiro precisamos calcular a resistência total da parede.

Fazendo o cálculo da resistência por sessão temos:

Sessão A

Consideramos a condutividade térmica do reboco e da argamassa o mesmo, pois não tem diferença significativa, de acordo com a tabela o $K=1,15(W/(m.K))$.

L reboco =0,03m e L argamassa= 0,09m de acordo com a figura mostrada.

$$R_a = \frac{0,03}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,03}{1,15} = 0,130 \frac{m^2K}{W}$$

Sessão B

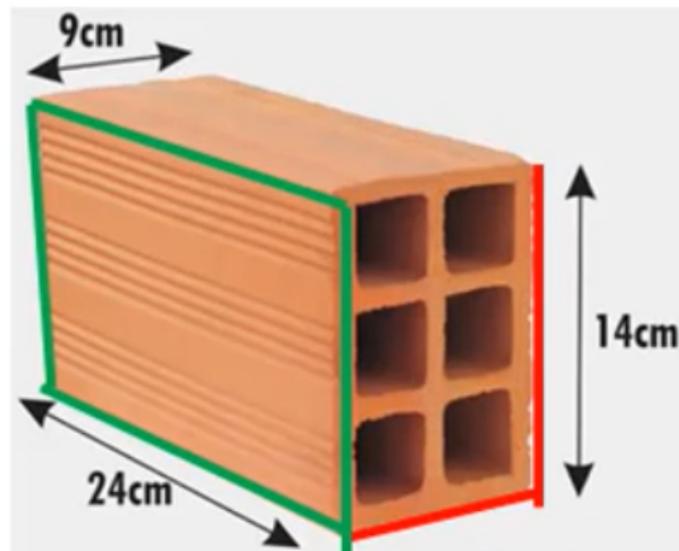
A condutividade térmica da parede foi considerada $K:0,70(W/(m.K))$ de acordo com a tabela.

$$R_b = \frac{0,03}{1,15} + \frac{0,09}{0,7} + \frac{0,03}{1,15} = 0,180 \frac{m^2 K}{W}$$

Para calcular a resistência da parede

Precisamos calcular a área das sessões

Figura 17 - Sessão do tijolo



Área da sessão A: Largura da argamassa x Altura da argamassa +
Largura da argamassa x largura do tijolo.

$$A_a = 0,01 \times 0,14 + 0,01 \times 0,09 = 0,0023 \text{ m}^2$$

Área da sessão B: É a área do tijolo

$$A_b = 0,14 \times 0,24 = 0,033 \text{ m}^2$$

Assim calculamos a resistência da parede

$$R_p = \frac{0,0023+0,033}{\frac{0,0023}{0,130} + \frac{0,033}{0,180}} = 0,175 \frac{m^2 K}{W}$$

Agora conseguimos obter o cálculo da resistência total

Considerando R_e e R_i de acordo com a tabela

$$R_t = 0,13 + 0,175 + 0,04 = 0,345 \frac{m^2 K}{W}$$

Após conseguir calcular a resistência total, conseguimos calcular o cálculo do coeficiente de transferência global

$$U = \frac{1}{0,345} = 2,89 \frac{W}{m^2 k}$$

6.3 CALCULO DA CARGA TÉRMICA DEVIDO A INSOLAÇÃO (SUPERFÍCIE OPACA)

- **Parede Leste**

Para a insolação na parede (superfície opaca) calculamos o coeficiente de transferência de calor $U=2,89(W/m^2 K)$ e $\Delta T = 7,4$ foi escolhido de acordo com a tabela 8 considerando o horário de 10 hrs e a área da parede leste é $A=25,5m^2$

$$Q = 25,5 \times 2,89 \times 7,4 = 545,3w$$

- **Parede Norte**

Considerando que o ΔT no horário de 10 h é 0 não consideramos insolação na parede norte

- **Parede Oeste**

Considerando que o ΔT no horário de 10 h é 0 não consideramos insolação na parede norte

- **Parede Sul**

Não recebe incidência solar

6.4 CALCULO DA CARGA TÉRMICA DEVIDO A INSOLAÇÃO (SUPERFÍCIE TRANSPARENTE)

- **Parede Leste**

Para a insolação no vidro comum consideramos o coeficiente de transferência de calor do vidro $U=5,79 (W/m^2K)$ e o $\Delta T = 14,4$ escolhido de acordo com a tabela 9 considerando o horário de 10 h, na parede leste consideramos a área total das superfícies transparente $A=5,4m^2$

$$Q = 5,4 \times 5,79 \times 14,4 = 419,90 \text{W/h.}$$

- **Parede Norte**

Consideramos o mesmo $U=5,79 (W/m^2K)$ e o $\Delta T = 1,1$ e a área total de superfície transparente de $A=7,5 m^2$.

$$Q = 7,5 \times 5,79 \times 1,1 = 34,39 \text{W/h}$$

- **Parede Oeste**

Considerando que o ΔT no horário de 10 h é 0 não consideramos insolação na parede norte

- **Parede Sul**

Não recebe incidência solar

6.5 CALCULO DA CARGA TÉRMICA DEVIDO A CONDUÇÃO

Considerando que ΔT é o mesmo para todas as direções, iremos calcular o R_t de cada parede.

$$Q = \frac{\Delta T}{R_t}$$

- **Parede Leste**

Vamos calcular a resistência total calculando a resistência do reboco e da parede.

Resistencia do Reboco

$$L = 0,03 \text{ m}$$

$$K = 1,15 \text{ (W/(m.K))}$$

$$A = 25,5 \text{ m}^2$$

$$R_p = 2 \times \frac{0,03}{1,15 \times 25,5} = 0,00204 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Obs: Consideramos duas vezes o reboco, pois consideramos os dois lados.

Resistencia da Parede

$$L = 0,09$$

$$K = 0,07 \text{ (W/(m.K))}$$

$$A = 25,5 \text{ m}^2$$

$$R_p = \frac{0,09}{0,07 \times 25,5} = 0,05 \frac{K}{W}$$

Resistencia total

$$R_t = 0,00204 + 0,05 = 0,05204 \frac{K}{W}$$

Logo a condução da parede leste é:

$$Q = \frac{(312,1 - 297)}{0,05204} = 290,16 W$$

- **Parede norte**

Resistencia do Reboco

$$L = 0,03 m$$

$$K = 1,15 (W/(m.K))$$

$$A = 41,4 m^2$$

$$R_p = 2 \times \frac{0,03}{1,15 \times 41,4} = 0,00126 \frac{K}{W}$$

Resistencia da Parede

$$L = 0,09 m$$

$$K = 0,07 (W/(m.K))$$

$$A = 41,1 m^2$$

$$R_p = \frac{0,09}{0,07 \times 41,1} = 0,03 \frac{K}{W}$$

$$R_t = 0,00126 + 0,03 = \mathbf{0,03126} \frac{K}{W}$$

Logo a condução da parede norte é:

$$Q = \frac{(312,1 - 297)}{0,03126} = 483,04 W$$

- **Parede Oeste**

Resistencia do Reboco

$$L = 0,03 m$$

$$K = 1,15 (W/(m.K))$$

$$A = 25,5 m^2$$

$$R_p = 2 \times \frac{0,03}{1,15 \times 25,5} = 0,00204 \frac{K}{W}$$

Resistencia da Parede

$$L = 0,09 m$$

$$K = 0,07 (W/(m.K))$$

$$A = 25,5 m^2$$

$$R_p = \frac{0,09}{0,07 \times 25,5} = 0,05 \frac{K}{W}$$

$$R_t = 0,00204 + 0,05 = \mathbf{0,05204} \frac{K}{W}$$

Logo a condução da parede oeste é:

$$Q = \frac{(312,1 - 297)}{0,05204} = 290,16 \text{ W}$$

- **Parede Sul**

Resistencia do Reboco

$$L = 0,03 \text{ m}$$

$$K = 1,15 \text{ (W/(m.K))}$$

$$A = 41,4 \text{ m}^2$$

$$R_p = 2 \times \frac{0,03}{1,15 \times 48,8} = 0,00106 \frac{K}{W}$$

Resistencia da Parede

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

$$K = 0,07 \text{ (W/(m.K))}$$

$$A = 48,8 \text{ m}^2$$

$$R_p = \frac{0,09}{0,07 \times 48,8} = 0,03 \frac{K}{W}$$

$$R_t = 0,00106 + 0,03 = \mathbf{0,03106} \frac{K}{W}$$

Logo a condução da parede sul é:

$$Q = \frac{(312,1-297)}{0,03106} = 486,15 W$$

6.6 CALCULO DA CARGA TÉRMICA DEVIDO A INFILTRAÇÃO

Para obter a entalpia utilizamos a tabela de termodinâmica de ar para gás ideal, onde utilizamos as temperaturas internas e externas para obter $h_e = 312,65$ e $h_i = 297,18$.

Consideramos também a densidade do ar $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$

Para a vazão da janela retiramos da tabela $10 Q=3 \text{ m}^3/h$.

$$q = (312,65 - 297,18) \times 1,2 \times 3 = 55,69 W$$

Consideramos que temos 9 janelas

$$q = 55,69 * 9 = 501,21 W$$

E Para vazão da porta consideramos $Q=6,5 \text{ m}^3/h$.

$$q = (315,27 - 295,17) \times 1,2 \times 6,5 = 156,78 W$$

6.7 CALCULO DA CARGA TÉRMICA DEVIDO A PRESENÇA HUMANA

Considerando a capacidade máxima de ocupação de 50 pessoas e a atividade exercida através da tabela 11 obtemos $q_s + q_l = 585W$

$$Q = 50 \times (585) = 29.250W$$

6.8 CALCULO DA CARGA TÉRMICA DEVIDO A ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

A potência total de todas as lâmpadas é 1.680W e o fator de reator de 25%

$$Q = 1680 \times 1,25 = 2.100W$$

6.9 CALCULO DA CARGA TÉRMICA GERADA PELOS EQUIPAMENTOS

Para o cálculo dos equipamentos iremos considerar a soma da potência de todos os equipamentos

Consideramos o valor de potência gerada pelo motor de cada esteira:

Equipamento	Potência
7 Esteiras	6.524,91W
2 notebooks/2 impressoras	150W
Aparelho de som médio	20W
TV em cores 29"	110W
TOTAL	6.804,91W

O Aparelho de som, TV em cores, notebook e impressoras não constam na planta mais devem ser considerados para o cálculo da carga térmica.

6.10 CALCULO DA CARGA TÉRMICA DEVIDO A VENTILAÇÃO

Para o cálculo da vazão consideramos área útil $A=167,89m^2$ e total de pessoas $N=50$ e f_p e f_a retiramos da tabela 8.

$$Q = \frac{7,5 \times 50 + 0,9 \times 167,89}{1000} = 0,53m^3/h$$

Logo o calor sensível a ser removido:

$$q = 1,2 \times 1,004 \times 0,53 \times (318 - 293) = 15,96W$$

Total de carga térmica

Carga Térmica	TOTAL (W)
Carga de insolação (superfície opaca)	545,3
Carga de insolação (superfície transparente)	454,29
Carga de condução	1.549,51
Carga de infiltração	657,99
Carga devido a presença humana	29.250
Carga devido a iluminação artificial	2.100
Carga gerada pelos equipamentos	6.808,91
Carga devido a ventilação	15,91
TOTAL	41.381,91

TOTAL DE CARGA INTERNA + EXTERNA = **41.381,91W**

Transformando em BTUS fica

$$41.381,91 \times 3,412 = 141.195,07 \text{ BTU/h}$$

Podemos converter para TR (Tonelada de refrigeração)

1TR=12.000 BTU's/h

Logo temos:

$$\frac{141.195,07}{12.000} = \mathbf{11,76 \text{ TR.}}$$

6.11 CALCULO DE VAZÃO TOTAL DE AR

Para fazer o cálculo da vazão de ar necessária, a temperatura interna do recinto é $T_i = 24^\circ\text{C}$ sendo a temperatura selecionada para o conforto térmico do ambiente e a temperatura de insuflamento selecionada foi de $T_i = 18^\circ\text{C}$, lembrando que ela pode variar de 15°C a 18°C .

$$Q = \frac{41.381,91 * 0,8594}{0,29 * (297 - 291)} = 20.438,85 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

7. Custo do Projeto

Neste projeto para selecionar o equipamento foi analisado o atendimento a carga térmica calculada e a disponibilidade de manutenção no local e então foi selecionado o sistema de ar condicionado split piso teto.

Custo do Equipamento		
Quantidade	Produto	Preço Total
2	Split Piso Teto 60000 BTUS (Carrier)	R\$15.504,56
1	Split Piso Teto 24000 BTUS (Carrier)	R\$5.349,00
Custo de Instalação		
2	Split Piso Teto 60000 BTUS (Carrier)	R\$3.800,00
1	Split Piso Teto 24000 BTUS (Carrier)	R\$1.000,00
Custo total do projeto		R\$25.653,56

8. Conclusão

Em ambientes em que há muito aquecimento corporal como na academia, a refrigeração aumenta o conforto dos clientes, portanto é de extrema importância que o ambiente seja climatizado. O objetivo principal

desse trabalho foi calcular a carga térmica de uma academia localizada na cidade de Belford Roxo e selecionar um equipamento que atendesse as necessidades de conforto térmico do ambiente.

Considerando todas as características do ambiente, como, dimensões, coordenadas geográficas, atividades realizadas, condições do estabelecimento e características do projeto, o cálculo da carga térmica foi realizado.

Após o cálculo da carga térmica que totalizou 41.381,91W que convertida para BTUS totalizou 141.195,07 BTUS, sugeriu-se no projeto de climatização a aquisição de três equipamentos split piso-teto dois com a capacidade de 60 mil BTUS e um com a capacidade de 24 mil BTUS, totalizando 144.000 BTUS distribuídos na academia, para assegurar a temperatura interna de $T_i = 24^{\circ}C$. O custo estimado para atender a carga térmica calculada foi de aproximadamente R\$25.653,56.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6401: Instalações Centrais de Ar-Condicionado para Conforto – Parâmetros Básicos de projeto**. Rio de Janeiro, 1980.

ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e individuais Parte 1: Projeto das instalações**. Rio de Janeiro 2008.

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

ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 16401-3: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e individuais Parte 3: Qualidade do ar interior**. Rio de Janeiro 2008.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16.401 - Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitário, Parte 3, Item 4, Condições Gerais**. Rio de Janeiro, 2008.

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento. **Guia para inspeção de sistemas de ar-condicionado**, mar. 2018.

CARRIER. **Manual de instalação, operação e manutenção**. 2020. Disponível em:

<https://carrierdobrasil.com.br/wp-content/uploads/2020/03/14851-256.08.761_IOM-Multisplit-40MSE-I-04-19-view-.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2020.

CASTRO, J. **Refrigeração comercial, climatização industrial**. São Paulo: Leopardo, 2010.

ÇENJEL, Y.; GHAJAR, A. **Transferência de calor e massa – uma abordagem prática**. 4. ed. Porto Alegre: McGraw Hill, 2012.

CLIMA Frio. **Manual de instalação, operação e manutenção**. 2020. Disponível em:

<<https://climafrio.com.br/wp-content/uploads/2020-selfcontained-view-.pdf>>. Acesso em: 8 dez. 2020.

COUTINHO, A. **Conforto e insalubridade térmica em ambientes de trabalho**. João Pessoa: Universitária UFPB, 2009.

CREDER, H. **Instalações de ar-condicionado**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

DUFRIO, **Solução VRF**. 2020. Disponível em:

<https://www.dufrio.com.br/pagina/sistemas-vrf?gclid=Cj0KCQiA5bz-BRD-ARIsABjT4ng8ny7eTnKTYnGhV3mV1ECCi7mgQI_9IRyV3uLYVR5EN8qks_tmiTwaAmqgEALw_wcB>. Acesso em: 8 dez. 2020.

FROTA, A.; SCHIFFER, S. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

ISO – International Organization for Standardization. **Ergonomics of the thermal environment** - Determination of metabolic rate. ISO 8996, Genebra, 2004.

MILLER, R.; MILLER, M. **Ar-condicionado e refrigeração**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

NAHAS, M. **O pentágono do bem-estar – base conceitual para avaliação do estilo de vida de indivíduos ou grupos**. Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde, v. 1, p. 10, 2011.

SABA, F. **Aderência à prática do exercício físico em academias**. São Paulo: Manole, 2013.

SILVA, J. **Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização**. 2. ed. [s.l.]: Artliber, 2006. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/66538931/introducao-a-tecnologia-da-refrigeracao-e-da-climatizacao>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

SILVA, W.; DAMIÃO, M. **Apostila de cálculo de carga térmica**. Benzor Engenharia, Curso Projetista de Ventilação Mecânica, 2018.

SOARES, A.; MACHADO, V.; XAVIER, A. Análise do conforto térmico em uma academia de atividades físicas: um estudo de caso. **Fiep Bulletin**, v. 83, edição especial, Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, 2013. Disponível em: <<http://www.fiepbulletin.net>>. Acesso em: 14 abr. 2021.