



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE RUSSAS
ENGENHARIA MECÂNICA

PAULO MATEUS DE ARAÚJO CAMPELO

PROJETO DE CLIMATIZAÇÃO PARA O RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DO
CAMPUS DA UFC EM RUSSAS

RUSSAS

2022

PAULO MATEUS DE ARAÚJO CAMPELO

PROJETO DE CLIMATIZAÇÃO PARA O RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DO
CAMPUS DA UFC EM RUSSAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, *Campus* de Russas, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Teles Viana

RUSSAS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C196p Campelo, Paulo Mateus de Araújo.
Projeto de Climatização para o restaurante universitário do campus da UFC em Russas / Paulo Mateus de Araújo Campelo. – 2022.
70 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia Mecânica, Russas, 2022. Orientação: Profa. Dra. Sílvia Teles Viana.
1. Condicionamento de ar. 2. Carga térmica. 3. Ambiente. I. Título.

CDD 620.1

PAULO MATEUS DE ARAÚJO CAMPELO

PROJETO DE CLIMATIZAÇÃO PARA O RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DO
CAMPUS DA UFC EM RUSSAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, *Campus* de Russas, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Silvia Teles Viana (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Camilo Augusto Santos Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Caroliny Gomes de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus a oportunidade de poder chegar a esse momento, sem Ele nada seria possível.

Aos meus pais por me proporcionarem uma boa educação, que nunca mediram esforços para me oferecer o que de melhor era possível.

Agradeço à minha namorada, Anna Kethlen, por estar comigo praticamente toda a graduação. Pela compreensão, cuidado, paciência e companheirismo nesse ciclo, e ainda pela presença em todos os momentos, tristes e felizes, e conversas que ajudaram a tornar esse período da faculdade um pouco mais fácil e chegar a esse final.

Agradeço à Profa. Dra. Sílvia Teles Viana não só por ter aceito a orientação deste trabalho como em outras oportunidades da graduação, como na monitoria da disciplina de termodinâmica.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma puderam contribuir minimamente para eu atingir este momento.

RESUMO

Este trabalho visa fazer o dimensionamento das cargas térmicas do pátio de refeições, sala do nutricionista e sala de venda de *tickets*, para os dois andares, ambientes do restaurante universitário da Universidade Federal do Ceará, campus de Russas, com o objetivo de sugerir sistemas de condicionamento de ar que possam ser aplicados nesses locais para atender a demanda da carga térmica calculada. Os sistemas de condicionamento de ar propostos devem ser pensados para se adequar à construção do ambiente já pronto, descartando a realização de grandes mudanças. Os cálculos para o dimensionamento foram baseados nas normas ABNT NBR 16401-1, ABNT NBR 16401-2 e ABNT NBR 16655-3, e ainda em obras literárias. Para esse cálculo, foi considerado o funcionamento do restaurante em suas condições máximas de ocupação possível em um ambiente externo extremo, de acordo com os dados históricos da região, para que o projeto pudesse atender até a máxima demanda do local caso seja necessário. Dessa forma, foi possível obter um projeto adequado para o ambiente, com um valor de carga térmica sendo atingido pelos equipamentos, para que o projeto não tivesse custos desnecessários, ocasionados por projetos superdimensionados.

Palavras-chave: condicionamento de ar; carga térmica; ambiente.

ABSTRACT

This work aims to dimension the thermal loads of the refectory, the nutritionist's room and the ticket office, for the two floors, environments of the university restaurant of the Federal University of Ceará, Russas campus, with the objective of to suggest air conditioning systems that can be applied in these places to meet the demand of the calculated thermal load. The proposed air conditioning systems must be designed to suit the construction of the ready-made environment, ruling out major changes. The calculations for the sizing were based on ABNT NBR 16401-1, ABNT NBR 16401-2 and ABNT NBR 16655-3 standards, and also on literary works. For this calculation, the operation of the restaurant was considered in its maximum possible occupancy conditions in an extreme external environment, according to the historical data of the region, so that the project could meet even the maximum demand of the place if necessary. In this way, it was possible to obtain a suitable project for the environment, with a thermal load value being reached by the equipment, so that the project did not have required costs, caused by oversized projects.

Keywords: air conditioning; thermal load; environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Posse de ar-condicionado do setor residencial	14
Figura 2 - Vista da entrada do RU	16
Figura 3 - Exemplos dos tipos de transferência de calor	18
Figura 4 - Transferência de calor por condução em uma parede simples	19
Figura 5 - Transferência por convecção forçada e natural	20
Figura 6 - Carta psicrométrica	22
Figura 7 - Ciclo básico de refrigeração	24
Figura 8 - Fatores que afetam o conforto térmico	25
Figura 9 - Fatores que afetam as cargas térmicas	26
Figura 10 - Carga de insolação em uma superfície opaca	27
Figura 11 - Mecanismos de perda de calor do corpo humano	28
Figura 12 - Esquema simplificado de um sistema de expansão indireta	32
Figura 13 - Representação de um ar-condicionado do tipo split hi wall	32
Figura 14 - Representação do posicionamento de um ar-condicionado piso teto	33
Figura 15 - Representação de um VRV	33
Figura 16 - Funcionamento do compressor de um ar-condicionado convencional em função da temperatura no ambiente	34
Figura 17 - Funcionamento do compressor de um ar-condicionado inverter em função da temperatura no ambiente	34

Figura 18 - Vista interna de uma das paredes do RU com uma parte com azulejos	41
Figura 19 - Vista de uma das paredes da sala de tickets com pastilhas de azulejo laranja	41
Figura 20 - Vista das paredes da entrada do RU com pastilhas de azulejo laranja	42
Figura 21 - Abertura da parede traseira do pátio de refeições	42
Figura 22 - Forro de PVC do teto do RU	43
Figura 23 - Exemplo de telha de alumínio trapezoidal.....	44
Figura 24 - Aberturas da sala de lavar louças.....	51
Figura 25 - Combinação das unidades VRV Daikin	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros iniciais do projeto	36
Tabela 2 - Descrição dos elementos construtivos do 1º e 2º andar do RU e suas legendas	36
Tabela 3 - Áreas dos elementos construtivos do pátio de refeições do 1º e 2º andar	38
Tabela 4 - Áreas dos elementos construtivos da sala do nutricionista do 1º e 2º andar	39
Tabela 5 - Áreas dos elementos construtivos da sala de tickets do 1º e 2º andar	40
Tabela 6 - Dimensões das partes das paredes com e sem azulejo do 1º e 2º andar	40
Tabela 7 - Resistência térmica dos materiais presentes na construção do RU	44
Tabela 8 - Coeficientes globais de transferência de calor dos elementos construtivos do RU	45
Tabela 9 - Carga térmica de transmissão do pátio de refeições do 1º e 2º andar	46
Tabela 10 - Carga térmica de transmissão da sala do nutricionista do 1º e 2º andar	47
Tabela 11 - Carga térmica de transmissão da sala de tickets do 1º e 2º andar	48
Tabela 12 - Carga térmica de insolação dos ambientes do 2º andar	48
Tabela 13 - Carga térmica devido a ocupação para os ambientes do 1º e 2º andar	49
Tabela 14 - Carga térmica de iluminação para os ambientes do 1º e 2º andar	50
Tabela 15 - Carga térmica dos equipamentos para os ambientes do 1º e 2º andar	50
Tabela 16 - Carga térmica de infiltração para o pátio de refeições do 1º e 2º andar	52
Tabela 17 - Carga térmica de infiltração para a sala do nutricionista do 1º e 2º andar	52
Tabela 18 - Carga térmica de infiltração para a sala de tickets do 1º e 2º andar	53
Tabela 19 - Carga térmica total de cada ambiente do RU	53

Tabela 20 - Proposta de equipamentos para climatização dos ambientes do RU utilizando o sistema split 54

Tabela 21 - Proposta de equipamentos para climatização dos ambientes do RU utilizando o sistema VRV..... 56

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
RU	Restaurante Universitário
TBS	Temperatura de Bulbo Seco
TBU	Temperatura de Bulbo Úmido
UFC	Universidade Federal do Ceará
VRV	Volume de Refrigeração Variável

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivos Gerais</i>	<i>15</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>15</i>
1.2	Justificativa	16
1.3	Estrutura do trabalho	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Fundamentos da transferência de calor	18
<i>2.1.1</i>	<i>Transferência de calor por condução</i>	<i>18</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Transferência de calor por convecção</i>	<i>19</i>
<i>2.1.3</i>	<i>Transferência de calor por radiação</i>	<i>20</i>
<i>2.1.4</i>	<i>O conceito de resistência térmica</i>	<i>21</i>
2.2	Psicrometria	22
2.3	Ciclo básico de refrigeração	23
2.4	Conforto Térmico	24
2.5	Carga Térmica	25
<i>2.5.1</i>	<i>Carga térmica de transmissão</i>	<i>26</i>
<i>2.5.2</i>	<i>Carga térmica de insolação</i>	<i>27</i>
<i>2.5.3</i>	<i>Carga térmica devido a ocupação</i>	<i>28</i>
<i>2.5.4</i>	<i>Carga térmica de iluminação</i>	<i>29</i>
<i>2.5.5</i>	<i>Carga térmica de equipamentos</i>	<i>29</i>
<i>2.5.6</i>	<i>Carga térmica de infiltração</i>	<i>30</i>
2.6	Sistemas de condicionamento de ar	31
<i>2.6.1</i>	<i>Sistemas de expansão indireta</i>	<i>31</i>
<i>2.6.2</i>	<i>Sistemas de expansão direta</i>	<i>32</i>
<i>2.6.3</i>	<i>O sistema Volume de Refrigeração Variável (VRV)</i>	<i>33</i>

2.7	A tecnologia inverter.....	34
3	METODOLOGIA	35
3.1	Parâmetros Iniciais	35
3.2	Características da construção	36
4	RESULTADOS.....	43
4.1	Resistências térmicas dos elementos presentes na construção.....	43
4.2	Cálculo dos coeficientes globais de transferência de calor dos elementos	44
4.3	Cálculo das cargas térmicas do RU	46
4.3.1	<i>Cálculo da carga térmica de transmissão</i>	46
4.3.2	<i>Cálculo da carga térmica de insolação</i>	48
4.3.3	<i>Cálculo da carga térmica devido a ocupação</i>	48
4.3.4	<i>Cálculo da carga térmica de iluminação</i>	49
4.3.5	<i>Cálculo da carga térmica dos equipamentos</i>	50
4.3.6	<i>Cálculo da carga térmica de infiltração</i>	51
4.4	Carga térmica total	53
5	SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS	54
5.1	Proposta utilizando equipamentos <i>splits</i> separados.....	54
5.2	Proposta utilizando o sistema VRV	55
6	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	57
6.1	Conclusão	57
6.2	Trabalhos futuros.....	57
	REFERÊNCIAS	58
	ANEXO A – TABELA COM O ACRÉSCIMO AO DIFERENCIAL DE TEMPERATURA PARA CARGA DE INSOLAÇÃO	61
	ANEXO B – TAXAS TÍPICAS DE CALOR LIBERADO POR PESSOAS.....	62
	ANEXO C – TABELA DE INFILTRAÇÃO DO AR EXTERIOR	63
	ANEXO D – PLANTA BAIXA DO PÁTIO DE REFEIÇÕES COM LEGENDAS DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS.....	64

ANEXO E – PLANTA BAIXA DA SALA DE LAVAR LOUÇAS COM LEGENDAS DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS.....	65
ANEXO F – PLANTA BAIXA DA SALA DO NUTRICIONISTA COM LEGENDAS DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS.....	66
ANEXO G – PLANTA BAIXA DA SALA DE <i>TICKETS</i> COM LEGENDAS DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS.....	67
ANEXO H – PLANTA BAIXA DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO	68
ANEXO I – TAXAS TÍPICAS DE DISSIPACÃO DE CALOR DE ALGUNS EQUIPAMENTOS	69

1 INTRODUÇÃO

A evolução da refrigeração foi responsável pela melhora de vários segmentos na vida do ser humano. Um dos exemplos mais importantes que pode ser citado é o surgimento de aparelhos que possibilitaram a conservação dos alimentos por mais tempo, diminuindo o desperdício de comida e possibilitando a estocagem por períodos muito maiores. Além desse exemplo, a refrigeração teve uma importante contribuição nas indústrias químicas, farmacêuticas, de construção, de bebidas e muitas outras.

Dentre essas áreas, uma das que possui o maior destaque é a responsável pelo condicionamento do ar em ambientes, e é devido a isso que é um dos ramos de atuação mais seguidos pelos profissionais da engenharia mecânica. O principal motivo desse destaque é a busca por um conforto térmico aliado aos benefícios que um ar condicionado pode gerar para o ser humano.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que é vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), realizou uma pesquisa acerca do uso do ar-condicionado no setor residencial brasileiro. Segundo a EPE (2018, p. 8), é estimado que a posse de aparelhos de ar-condicionado pelas famílias mais que duplicou entre os anos de 2005 e 2017, o que é um dado relevante, considerando o custo para comprar e manter esses aparelhos.

Além disso, com base ainda na EPE (2018, p. 23) considerando a residência de indivíduos que desejam climatização artificial e possuem renda para obtê-la, o número de aparelhos de ar-condicionado por residência irá, pelo menos, duplicar de 2020 a 2035, como mostra a Figura 1. Dados como esses nos levam a induzir que as pessoas buscam cada vez mais ambientes que lhe proporcionem um conforto térmico adequado.

Figura 1 - Posse de ar-condicionado do setor residencial



Fonte: EPE (2018, p. 24).

A crescente demanda por ar condicionado é impulsionada, entre outros fatores, pelo crescimento econômico, populacional e urbanização nas regiões mais quentes do mundo. Tais regiões, em geral, localizadas no hemisfério sul do planeta e constituídas por países em desenvolvimento, estão mais suscetíveis aos efeitos das mudanças climáticas [...]. (EPE, 2018, p. 6).

O incremento dessas mudanças climáticas já pode ser observado no Brasil segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Utilizando dados da temperatura média do ar das estações meteorológicas espalhadas pelo Brasil, as temperaturas têm ficado acima da média histórica desde os anos 90 (INMET, 2022). Esse aumento das temperaturas reforça ainda mais a importância dos ambientes estarem adequados a essas mudanças para se tornarem agradáveis para seus frequentadores.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

Dimensionar a carga térmica dos ambientes do Restaurante Universitário (RU) do Campus da Universidade Federal do Ceará (UFC) em Russas que entrarão no projeto de climatização e propor um sistema de condicionamento de ar para suprir a demanda dessa carga, observando as restrições de construção já impostas pelo prédio, de forma a garantir o conforto térmico adequado para os frequentadores do local.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os seguintes objetivos específicos deste trabalho podem ser pontuados:

- Realizar o levantamento das dimensões dos ambientes que estarão no projeto.
- Anotar os equipamentos que possam contribuir para um aumento na carga térmica nesses ambientes, bem como suas especificações, para incluí-los nos cálculos.
- Fazer o cálculo da carga térmica para os ambientes definidos no projeto considerando a utilização do restaurante universitário em sua capacidade máxima.
- Propor equipamentos que possam suprir a demanda da carga térmica calculada.

1.2 Justificativa

A cidade de Russas, a qual o restaurante universitário está localizado, apresenta um clima bastante quente em boa parte do ano, podendo chegar a temperatura de 37 °C em determinados meses, com pouca tendência de precipitações. Isso torna importante a questão de utilizar equipamentos que possam controlar a temperatura e a umidade em um local para viabilizar a presença de seus ocupantes.

Além disso, aparelhos condicionadores de ar possuem filtros que melhoram a qualidade do ar, já que esses filtros ajudam no combate de alguns agentes infecciosos, como fungos e bactérias, e na retenção de poeira, tornando o ar mais puro.

Ademais, os trabalhadores do RU se inserem na questão da NR 17, que exige medidas de controle de temperatura, da velocidade do ar e da umidade, para proporcionar conforto térmico para os funcionários.

O restaurante, Figura 2, que foi inaugurado em 2019, dispõe atualmente apenas de ventiladores para reduzir os efeitos climáticos nos frequentadores, e, com o crescimento do número de ocupantes a cada ano, é esperado que seja adequado um projeto para diminuir o impacto do clima em quem frequenta o espaço.

Figura 2 - Vista da entrada do RU



Fonte: Elaboração própria (2022).

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está disposto em capítulos para organizar a sua estrutura e facilitar o entendimento de cada etapa. No capítulo um são expostos a justificativa e os objetivos para a realização desse trabalho. No capítulo dois é feita uma concisa revisão de literatura com os principais assuntos que delimitam o projeto. No capítulo três são mostrados todos os parâmetros necessários para o cálculo da carga térmica e seus resultados. No capítulo quatro são apresentadas propostas para atingir o objetivo do trabalho. Por último, no capítulo cinco, são feitas as conclusões acerca do projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

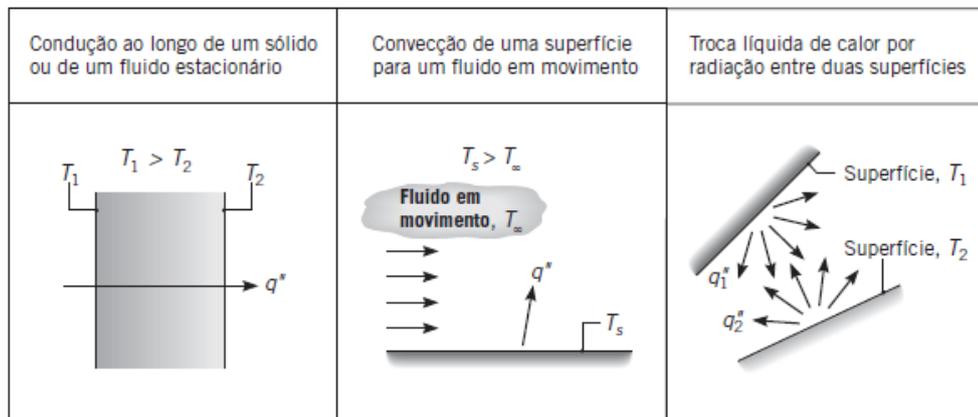
2.1 Fundamentos da transferência de calor

De acordo com Bergman e Lavine (2008, p. 2) a transferência de calor é definida como “[...] energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço”. Logo, podemos dizer que a diferença de temperatura em um meio é um princípio básico para que ocorra o fenômeno da transferência de calor.

Muitos equipamentos utilizados no decorrer do dia utilizam os princípios da transferência de calor para o funcionamento, como geladeiras, aquecedores, freezers e ar-condicionados. Inclusive, o corpo humano passa por esse processo. Como relatam Çengel e Ghajar (2012, p. 13) “o corpo humano está constantemente rejeitando calor para o ambiente, e nosso conforto está diretamente ligado à taxa que essa rejeição ocorre. Tentamos controlar essa taxa de transferência de calor adequando nossas roupas às condições do ambiente.”

Existem três formas de ocorrer a transferência de calor, como demonstra, com exemplos, a Figura 3, são elas: condução, convecção e radiação.

Figura 3 - Exemplos dos tipos de transferência de calor



Fonte: Bergman e Lavine (2008, p. 2).

2.1.1 Transferência de calor por condução

“Condução é a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para partículas vizinhas adjacentes menos energéticas, como resultado da interação entre elas. A condução pode ocorrer em sólidos, líquidos ou gases.” (ÇENGEL; GHAJAR, 2012, p. 17).

Segundo Çengel e Ghajar (2012, p. 18), “a taxa de condução de calor por um meio depende da geometria, da espessura, do tipo de material e da diferença de temperatura a que o meio está submetido.” Logo, temos a lei de Fourier da condução térmica, que relaciona essas grandezas para uma camada plana, como na Figura 4, através da equação:

$$\dot{Q}_{cond} = -k \cdot A \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Onde:

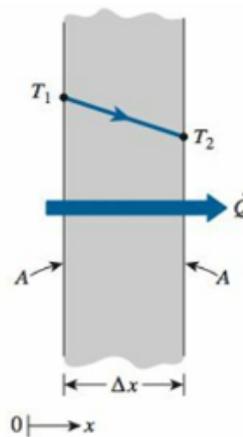
\dot{Q}_{cond} é a taxa de condução de calor (W)

k é a condutividade térmica do material (W/m K)

A é a área de seção transversal (m²)

$\frac{dT}{dx}$ é o gradiente de temperatura

Figura 4 - Transferência de calor por condução em uma parede simples



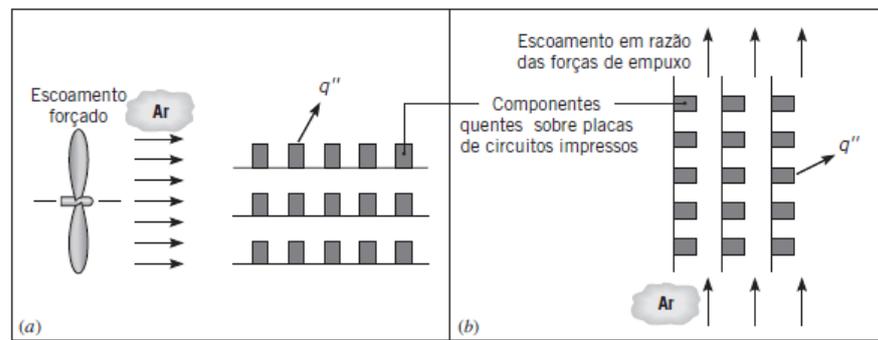
Fonte: Çengel e Ghajar (2012, p. 18).

2.1.2 Transferência de calor por convecção

Convecção é o modo de transferência de calor que ocorre entre uma superfície sólida e uma líquida ou um gás adjacente, que está em movimento e que envolve os efeitos combinados de condução e de movimento de um fluido. Para a transferência, quanto mais rápido for o movimento do fluido, maior será a transmissão por convecção (ÇENGEL; GHAJAR, 2012, p. 25).

Podemos classificar a transferência por convecção de acordo com a natureza de escoamento do fluido, podendo ser convecção forçada, que é quando o escoamento é causado por meios externos, como um ventilador ou uma bomba, ou convecção natural, onde o escoamento do fluido é induzido por forças de empuxo, que são originadas a partir de diferenças de densidades causadas por variações de temperatura no fluido (ÇENGEL; GHAJAR, 2012, p. 25). A Figura 5 mostra um exemplo de como podem ocorrer as transferências por convecção para o escoamento forçado e natural.

Figura 5 - Transferência por convecção forçada e natural



Fonte: Bergman e Lavine (2008, p. 5).

A equação que rege esse fenômeno é definida pela lei do resfriamento de Newton, sendo ela:

$$\dot{Q}_{conv} = h \cdot A(T_s - T_{\infty}) \quad (2)$$

Onde:

\dot{Q}_{conv} é a taxa de transferência de calor por convecção (W)

h é o coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m² K)

A é a área da superfície em que o processo ocorre (m²)

T_s é a temperatura da superfície (°C)

T_{∞} é a temperatura do fluido (°C)

2.1.3 Transferência de calor por radiação

De acordo com Stoecker e Jones (1985, p. 29), “a transferência de calor por radiação se dá como resultado do deslocamento de fótons de uma superfície para outra. Ao atingir uma

superfície, esses fótons podem ser absorvidos, refletidos ou transmitidos.” Diferente dos tipos de transferência por condução e convecção, a transferência por radiação não necessita de um meio material para acontecer.

A taxa líquida de transferência de calor por radiação entre duas superfícies pode ser dada por:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A(T_s^4 - T_{cir}^4) \quad (3)$$

Onde:

\dot{Q}_{rad} é a taxa líquida de transferência de calor por radiação entre duas superfícies (W)

ε é a emissividade

σ é a constante de Stefan-Boltzman ($5,670 \times 10^{-8}$ (W/m²K⁴))

A é a área superficial (m²)

T_s é a temperatura da superfície menor (°C)

T_{cir} é a temperatura da superfície maior (°C)

2.1.4 O conceito de resistência térmica

A resistência térmica é uma propriedade que mede a resistência de um material à passagem do calor. Para Bergman e Lavine (2008, p. 64) é possível fazer uma associação da forma que uma resistência elétrica está associada à condução de eletricidade e uma resistência térmica está associada à condução de calor.

Para um determinado material, a sua resistência térmica pode ser encontrada pela seguinte equação:

$$R = \frac{e}{k} \quad (4)$$

Onde:

R é a resistência térmica do material (m² K/W)

e é a espessura do material (m)

k é a condutividade térmica do material (W/m K)

Em um circuito de resistência térmica, isto é, onde há vários materiais diferentes em contato que estão no processo de transferência de calor, a resistência total é definida pela soma das resistências de todos os materiais. Muitas vezes as resistências são representadas pelo coeficiente global de transferência de calor, em que é dado pela equação:

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (5)$$

Onde:

U é o coeficiente global de transferência de calor ($\text{W/m}^2 \text{K}$)

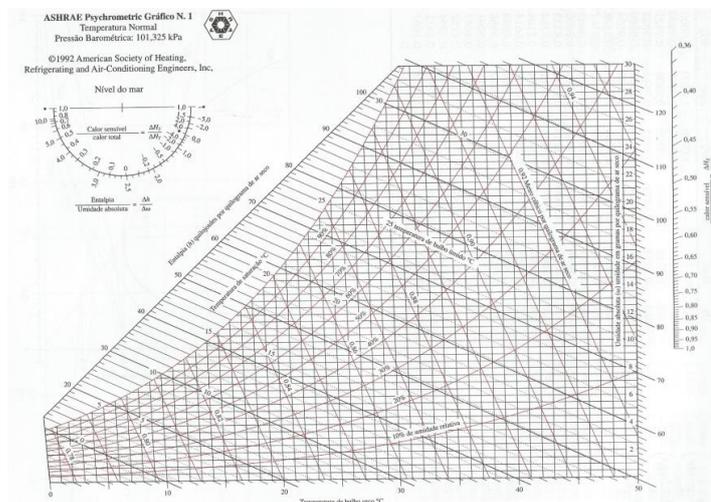
R_t é a resistência térmica total ($\text{m}^2 \text{K/W}$)

2.2 Psicrometria

A psicrometria é definida como o estudo das misturas de ar e vapor de água. Ela tem grande importância devido ao fato que, no ar condicionado, o ar não é seco, mas sim uma mistura de ar e vapor de água (STOECKER; JONES, 1985, p. 45).

O seu estudo é baseado em algumas variáveis que são responsáveis por definir as propriedades e o estado em que o ar se encontra. Essas variáveis podem ser encontradas em um gráfico desenvolvido pelo alemão Richard Mollier no século XX denominado “carta psicrométrica”, publicado pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) e mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Carta psicrométrica



Fonte: ASHRAE (2021, p. 19).

Esse gráfico é importante, pois define os parâmetros em que o ar se encontra de acordo com os valores de suas variáveis. Algumas variáveis presentes na carta psicrométrica são conceituadas segundo Creder (2004, p. 31-32) como:

- Umidade absoluta: quantidade de vapor presente na mistura ar-vapor. É expressa em kg de vapor d'água por m³ de ar.
- Umidade relativa: relação entre a umidade absoluta existente e a máxima umidade absoluta a uma dada temperatura, ou seja, quando o ar estiver saturado de vapor.
- Temperatura de bulbo úmido (TBU): é a temperatura obtida ao cobrir um termômetro com uma flanela umedecida. Quando o ar, que está em contato com o bulbo úmido, não está saturado, há a vaporização da água contida na flanela e essa vaporização faz diminuir a TBU até o ponto de equilíbrio.
- Temperatura de bulbo seco (TBS): é a temperatura que é medida por um termômetro comum.
- Volume específico: volume em m³ de mistura por kg de ar seco, podendo também ser definido como o volume em m³ do ar seco por kg de ar seco.

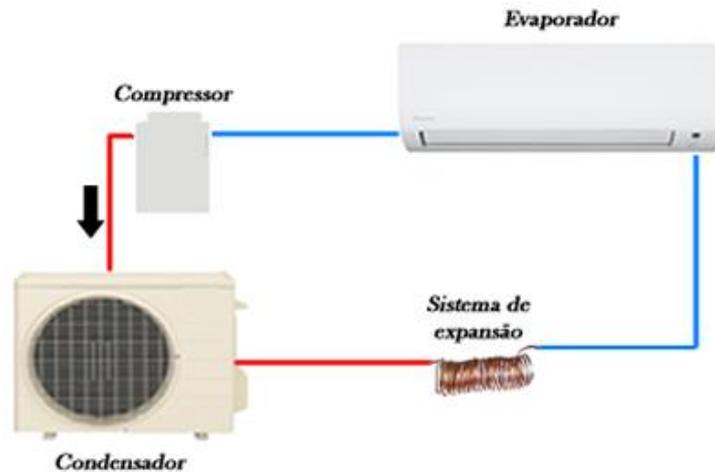
2.3 Ciclo básico de refrigeração

“Uma substância muda de estado quando a quantidade de calor interna é variada. [...] A quantidade de calor necessária dependerá da substância e das mudanças de pressão na substância.” (MILLER, R.; MILLER, M., 2017, p. 98). Em um ciclo básico de refrigeração existem pelo menos quatro componentes fundamentais para o seu funcionamento, são eles: compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador.

O ciclo utiliza tubulações contendo um determinado fluido refrigerante para conectar todos esses componentes e realizar o seu funcionamento.

O ciclo se inicia quando o fluido parte do compressor na condição gasosa a alta temperatura e alta pressão em direção ao condensador. Nele há a troca de calor com o ambiente e acontece a transição do fluido refrigerante do estado gasoso para o líquido. Saindo do condensador, o fluido passa pela válvula de expansão, onde ocorre uma queda de pressão, o que faz com que o fluido entre no evaporador como uma mistura bifásica de líquido e vapor. No evaporador, irá ocorrer novamente uma troca de calor com o ambiente, fazendo com que o fluido aumente sua temperatura e se torne novamente gasoso ao partir para o compressor, fechando, assim, o ciclo. Um esquema de representação desse ciclo é mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Ciclo básico de refrigeração



Fonte: Climátis (2021).

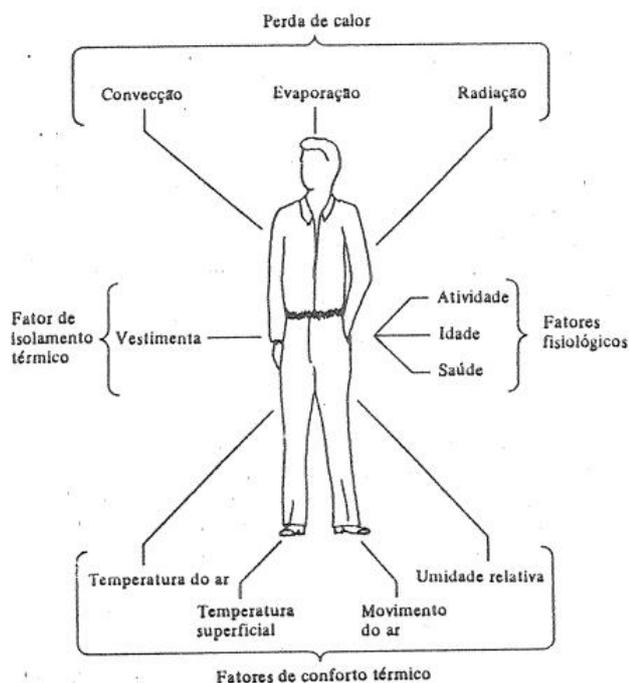
2.4 Conforto Térmico

Segundo a NEWPROPERTIES (2021, apud ASHRAE, 2021), conforto térmico é definido como “Uma condição mental que expressa satisfação com as condições térmicas do ambiente que é avaliado de forma subjetiva pelo indivíduo”. As pessoas, hoje, costumam passar boa parte do seu tempo em ambientes fechados. Nesses ambientes, o conforto térmico torna-se importante para a atividade que está sendo realizada a fim de garantir o seu pleno desempenho, sendo ela manual ou mental.

Segundo Stoecker e Jones (1985, p. 65-66), calor é gerado por um processo metabólico no sentido de manter a temperatura do corpo. Os processos metabólicos podem ser afetados por fatores, tais como idade, saúde e nível de atividade. Assim, por exemplo, um ambiente que envolve condições aceitáveis por uma pessoa saudável pode não ser satisfatório para uma pessoa doente. Além disso, as pessoas mudam seus hábitos de vestir com as estações do ano a fim de manter o conforto sob uma faixa mais larga de condições ambientais.

De fato, não há um consenso sobre o conforto térmico ideal, já que é algo que varia de cada indivíduo, o que faz com que a temperatura em um determinado ambiente possa estar fria ou quente, dependendo da percepção da pessoa que está sentindo. Algumas variáveis já citadas que influenciam o conforto térmico, além de outras, podem ser vistas na Figura 8.

Figura 8 - Fatores que afetam o conforto térmico



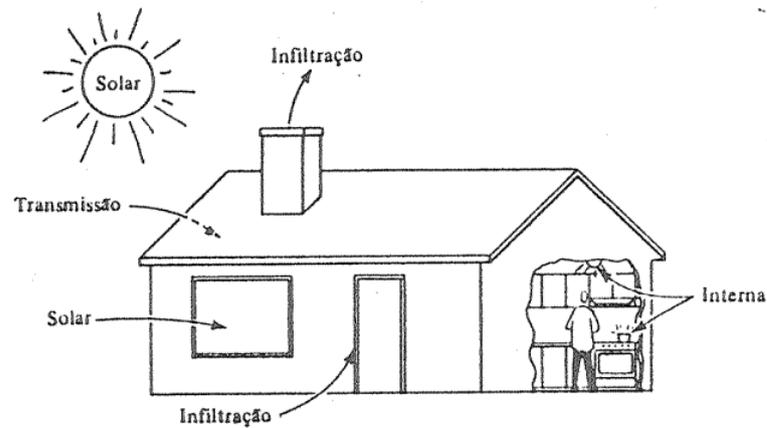
Fonte: Stoecker e Jones (1985, p. 66).

2.5 Carga Térmica

Segundo Creder (2004, p. 88), carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente que deve ser retirada ou adicionada ao ambiente a fim de proporcionar as condições de conforto desejadas. A retirada de carga térmica ocorre quando é desejado fazer o resfriamento do recinto e a adição é feita quando se deseja aquecer o ambiente.

Em um ambiente, alguns parâmetros que influenciam na carga térmica são: a radiação solar, os tipos de materiais presentes nos elementos construtivos, o tipo de iluminação utilizada, os equipamentos que dissipam calor e alguns outros. Por isso, o cálculo da carga térmica, geralmente, é subdividido nas cargas de insolação, transmissão, ocupação de pessoas, iluminação, equipamentos e infiltração, como é mostrado na Figura 9. Fazer o cálculo da carga térmica é importante, pois através dele conseguimos dimensionar corretamente o sistema de climatização adequado para o ambiente.

Figura 9 - Fatores que afetam as cargas térmicas



Fonte: Stoecker e Jones (1985, p. 70).

2.5.1 Carga térmica de transmissão

Para Rex Miller e Max Miller (2017, p. 694), “os aparelhos de ar condicionado e os sistemas de refrigeração comerciais sempre terão que dar conta de um ganho de calor pelas paredes ou do exterior da área resfriada.” O cálculo da carga de transmissão representa o ganho de calor a partir da diferença de temperatura dos ambientes externos e o recinto analisado, por isso irá depender diretamente dessas temperaturas. Além disso, são, também, importantes fatores, a área do elemento que está passando pelo processo e o seu material, já que a resistência térmica de cada material irá impactar na quantidade de calor que será transmitido pelo elemento.

A carga térmica de transmissão é definida pela equação:

$$C_{trans} = A \cdot U (T_{ext} - T_{int}) \quad (6)$$

Onde:

C_{trans} é a carga térmica de transmissão (W)

A é a área da troca térmica (m²)

U é o coeficiente global de transferência de calor (W/m² K)

T_{ext} é a temperatura externa (°C)

T_{int} é a temperatura interna (°C)

2.5.2 Carga térmica de insolação

A carga térmica de insolação é oriunda do efeito da incidência da radiação solar nas superfícies. Com respeito a isso, Stoecker e Jones (1985, p. 87) explicam que uma parte da energia solar é refletida e a restante absorvida. Uma parte dessa energia que é absorvida, será transmitida para o meio exterior por convecção e radiação. A restante é transmitida para o interior ou absorvida temporariamente, como pode ser visto na Figura 10 para uma superfície opaca.

Em sua metodologia, Creder (2004, p. 96) considera um acréscimo de temperatura de acordo com a cor da superfície opaca e a sua orientação geográfica. Esse dado pode ser visto na tabela localizada no Anexo A. Para o cálculo da carga térmica de insolação a seguinte equação é utilizada:

$$C_{inso} = A \cdot U (T_{ext} - T_{int} + \Delta T) \quad (7)$$

Onde:

C_{inso} é a carga térmica de insolação (W)

A é a área da troca térmica (m²)

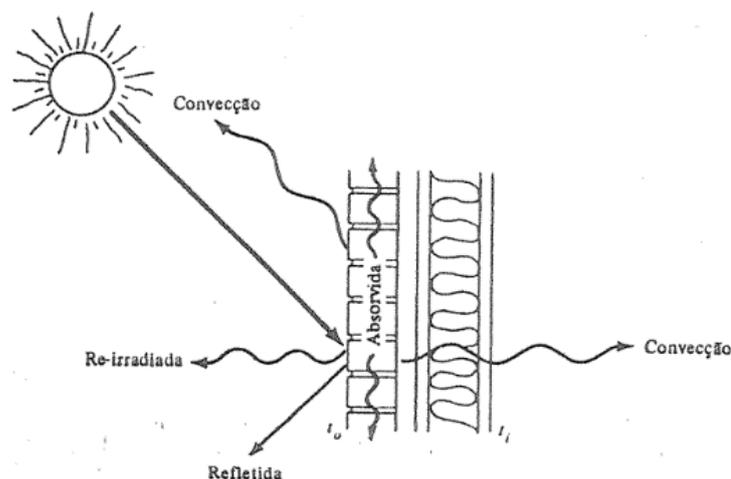
U é o coeficiente global de transferência de calor (W/m² K)

T_{ext} é a temperatura externa (°C)

T_{int} é a temperatura interna (°C)

ΔT é o acréscimo ao diferencial de temperatura (°C)

Figura 10 - Carga de insolação em uma superfície opaca



Fonte: Stoecker e Jones (1985, p. 88).

2.5.3 Carga térmica devido a ocupação

De acordo com Çengel e Ghajar (2012, p. 773), “o calor metabólico gerado no corpo é dissipado para o ambiente através da pele e dos pulmões por convecção e radiação por calor sensível e por evaporação como calor latente”, assim como representa a Figura 11.

A emissão desse valor varia de acordo com alguns fatores, como idade, sexo, metabolismo e, principalmente, a atividade que está sendo desempenhada. A norma ABNT NBR 16401 – 1: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 1: Projetos das instalações define em uma tabela, considerando um ambiente interno com TBS de 24 °C, as taxas típicas de calor liberado pelas pessoas de acordo com o ambiente em que ela se encontra e sua atividade realizada. Essa tabela pode ser encontrada no Anexo B.

Para fazer o cálculo da carga térmica devido a ocupação, deve ser levado em consideração uma média do número de pessoas que estará no ambiente se o tempo de permanência for inferior a 90 minutos. O cálculo pode ser feito pela equação:

$$C_{ocu} = N_p(Q_{lat} + Q_{sen}) \quad (8)$$

Onde:

C_{ocu} é a carga térmica devido a ocupação (W)

N_p é a quantidade de pessoas

Q_{lat} é a taxa de calor latente da respectiva atividade (W)

Q_{sen} é a taxa de calor sensível da respectiva atividade (W)

Figura 11 - Mecanismos de perda de calor do corpo humano



Fonte: Çengel e Ghajar (2012, p. 773).

2.5.4 Carga térmica de iluminação

As lâmpadas emitem calor durante a conversão da energia elétrica em luz, por isso também devem ser consideradas no cálculo da carga térmica. “A quantidade de calor ganha pelo espaço proveniente das lâmpadas depende da potência delas e do tipo de conexão elétrica utilizado.” (STOECKER; JONES, p. 79). Logo, essa quantidade de calor irá depender do tipo de filamento utilizado na lâmpada, além da emissão de radiação infravermelha.

Amplamente utilizada no mundo hoje, as lâmpadas de LED não possuem filamento e emitem baixíssima radiação infravermelha, sendo considerada desprezível. Por isso, podemos calcular a carga térmica de iluminação em função da potência total de lâmpadas instaladas no recinto pela equação:

$$C_{ilu} = N_l \cdot P \quad (9)$$

Onde:

C_{ilu} é a carga térmica de iluminação (W)

N_l é a quantidade de lâmpadas

P é a potência da lâmpada (W)

2.5.5 Carga térmica de equipamentos

Os equipamentos elétricos dissipam calor para o ambiente durante o seu funcionamento, e, por isso, também são considerados no cálculo da carga térmica. As taxas de dissipação de calor de alguns equipamentos são encontradas na norma ABNT NBR 16401-1. Usamos a seguinte equação para o cálculo da carga térmica por equipamentos:

$$C_{eq} = N_e \cdot P_t \quad (10)$$

Onde:

C_{eq} é a carga térmica dos equipamentos (W)

N_e é a quantidade de equipamentos

P_t é a taxa de dissipação de calor do equipamento (W)

2.5.6 Carga térmica de infiltração

A norma ABNT NBR 16401-1 (2008, p. 12) define infiltração como o “fluxo de ar externo para dentro do ambiente através de frestas e outras aberturas não intencionais, e através do uso normal de portas localizadas na fachada.” Esse ar é infiltrado em condições diferentes do ar do recinto, fazendo com que sejam adicionadas parcelas de calor.

Podemos estimar essa carga térmica através do método das frestas indicado por Creder em seu livro. Através da tabela presente no Anexo C, a vazão de ar que entra no recinto é estimada. Com isso, podemos usar as equações abaixo, adaptadas do livro com a conversão de kcal/h para W, para calcular o calor sensível e o calor latente, para, posteriormente, calcular a carga térmica de infiltração.

$$Q_s = 0,3373V(T_{ext} - T_{int}) \quad (11)$$

Onde:

Q_s é o calor sensível (W)

V é a vazão (m³/h)

T_{ext} é a temperatura externa (°C)

T_{int} é a temperatura interna (°C)

$$Q_l = 830,59V(w_{ext} - w_{int}) \quad (12)$$

Onde:

Q_l é o calor latente (W)

V é a vazão (m³/h)

w_{ext} é a umidade absoluta externa (kg/kg)

w_{int} é a umidade absoluta interna (kg/kg)

$$C_{inf} = Q_s + Q_l \quad (13)$$

Onde:

C_{inf} é a carga térmica de infiltração (W)

Q_s é o calor sensível (W)

Q_l é o calor latente (W)

2.6 Sistemas de condicionamento de ar

Segundo Araújo (2011, p. 5), um sistema de ar-condicionado é destinado a climatizar o ar em um recinto fechado, mantendo sua temperatura e umidade do ar controladas, para deixar o ambiente em temperaturas agradáveis, criando uma sensação de conforto térmico.

Existem diversos tipos de equipamentos e sistemas de condicionamento de ar que irão variar de acordo com a finalidade da sua aplicação. Alguns parâmetros, como o tamanho do ambiente, custos de aquisição, instalação e manutenção, são essenciais para a escolha de qual tipo adotar. Além disso, seu modo de funcionamento varia de acordo com cada equipamento, o que também influencia na sua escolha.

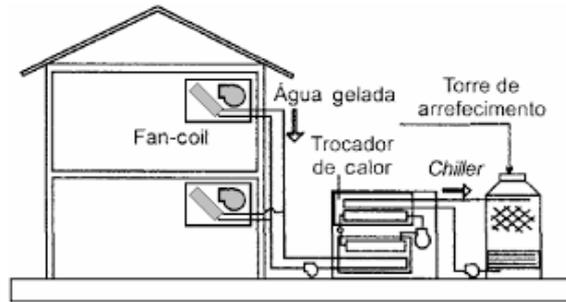
Os sistemas de condicionamento de ar são divididos basicamente em dois tipos: sistemas de expansão direta e sistemas de expansão indireta.

2.6.1 Sistemas de expansão indireta

Cleto e Rodrigues (2016, p. 19) classificam os sistemas dessa forma quando o ar a ser insuflado no ambiente é resfriado em uma serpentina que utiliza um fluido secundário, que geralmente é a água no estado líquido. Esse fluido é bombeado e percorre uma rede hidráulica e, após passar pela serpentina de resfriamento do ar, volta para o trocador de calor do sistema de refrigeração, onde será resfriado pelo fluido frigorífico. Ou seja, é chamado assim pois o gás refrigerante não entra em contato direto com o ar do ambiente que será resfriado, mas sim com um fluido secundário que faz a troca térmica com o ar.

Esses sistemas têm como seus dois principais componentes *chillers* e *fancoils*. Os *chillers* são os responsáveis por resfriar o fluido secundário que será enviado para a serpentina dos *fancoils* para fazer a troca de calor com o ar que será insuflado nos ambientes. Por ser um sistema grande e com um alto custo de implementação, é mais utilizado em ambientes que necessitam de muita extração de carga térmica e com várias zonas diferentes para climatização, como *shoppings*, indústrias e hospitais. Um esquema resumido sobre um sistema de expansão indireta pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 - Esquema simplificado de um sistema de expansão indireta



Fonte: Blog professor Fagner Ferraz (2012).

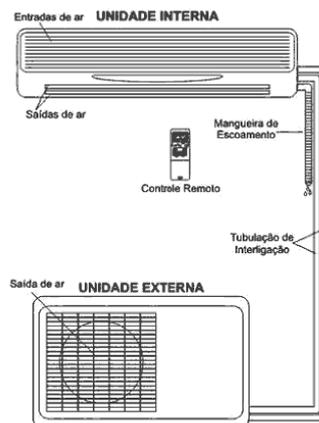
2.6.2 Sistemas de expansão direta

Para Cleto e Rodrigues (2016, p. 15), já para os sistemas de expansão direta, o ar a ser insuflado no ambiente é resfriado em uma serpentina que utiliza o próprio fluido refrigerante evaporando no interior dos tubos da serpentina em uma temperatura mais baixa. Ou seja, a troca térmica é feita diretamente entre o fluido refrigerante e o ar, não sendo necessário um fluido secundário no processo.

Os equipamentos *splits* dessa classe são muito populares, sendo os tipos *hi wall* e o piso teto amplamente utilizados. São divididos em duas unidades, sendo a unidade interna, que fica dentro dos ambientes, a evaporadora, e a unidade externa, que fica na parte de fora dos ambientes, a condensadora.

Os aparelhos do tipo *hi wall* são utilizados, em geral, em ambientes pequenos ou médios, como residências, comércios e salas de escritórios. São bastante compactos e de fácil manutenção. Seu modelo está representado na Figura 13.

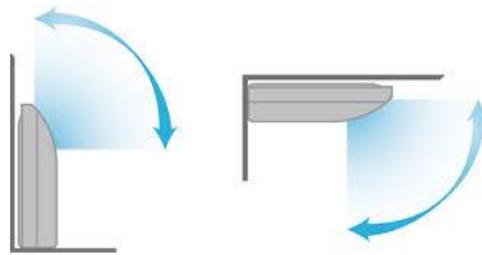
Figura 13 - Representação de um ar-condicionado do tipo split *hi wall*



Fonte: Blog Dufrio (2020).

Os splits do tipo piso teto são amplamente utilizados no mundo quando é requerido um ambiente com uma maior carga de refrigeração, podendo possuir até a capacidade de 80000 BTU/h no seu modelo convencional. Eles possuem esse nome, pois têm a possibilidade de serem instalados tanto no alto de uma parede, na posição horizontal, como junto ao piso, na posição vertical, como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Representação do posicionamento de um ar-condicionado piso teto

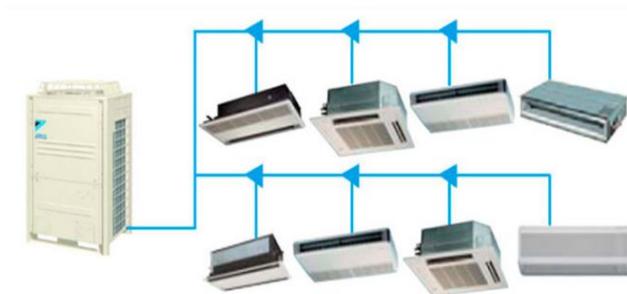


Fonte: Servair (2022).

2.6.3 O sistema Volume de Refrigeração Variável (VRV)

O VRV é um sistema moderno de condicionamento de ar que, como Cleto e Rodrigues (2016, p. 18) explicam, possui apenas uma unidade condensadora conectada a várias unidades evaporadoras. Esse sistema funciona em um único ciclo e permite a conexão de mais de sessenta evaporadoras, até mesmo modelos diferentes, como demonstra a Figura 15, de maneira simultânea, isso graças a sua capacidade de funcionamento a longas distâncias. Por isso, ele é ideal para grandes prédios comerciais ou ambientes que necessitam de várias zonas de climatização.

Figura 15 - Representação de um VRV

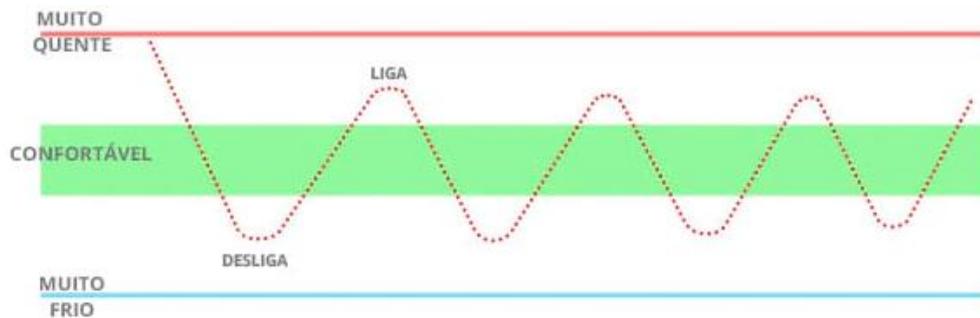


Fonte: Blog da norte (2022).

2.7 A tecnologia inverter

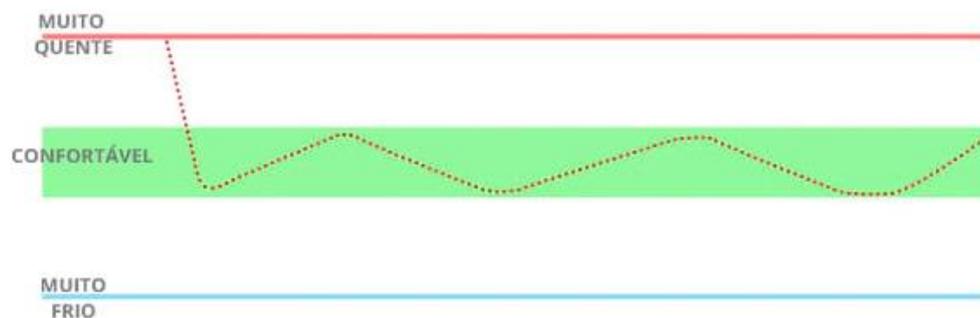
Sobre a tecnologia inverter, Matos (2017, p. 45) explica que tem o funcionamento através da variação da frequência de energia que é fornecida ao compressor. Diferentemente dos modelos convencionais, o compressor dos modelos inverter sempre está ligado, variando somente a sua velocidade de trabalho, o que reduz os picos de energia e o seu consumo, além de garantir uma temperatura mais constante no ambiente. As Figuras 16 e 17 mostram, respectivamente, o funcionamento da operação de um compressor convencional e um inverter decorrente da temperatura que está o ambiente.

Figura 16 - Funcionamento do compressor de um ar-condicionado convencional em função da temperatura no ambiente



Fonte: Frigelar (2017).

Figura 17 - Funcionamento do compressor de um ar-condicionado inverter em função da temperatura no ambiente



Fonte: Frigelar (2017).

3 METODOLOGIA

O dimensionamento da carga térmica será realizado para as áreas do pátio de refeições do RU, sala do nutricionista e sala de venda de *tickets*, sendo realizado também para as mesmas áreas no 2º andar do prédio, que possuem exatamente as mesmas dimensões dos ambientes do 1º andar. Os valores calculados para as cargas térmicas totais de ocupação, iluminação, equipamentos e infiltração irão valer para os dois andares, visto que eles possuem os mesmos parâmetros para essas cargas. Foi considerado também que somente o pátio de refeições e a sala de venda de *tickets* funcionam de maneira simultânea, já que a sala do nutricionista só é utilizada quando o RU não está em funcionamento.

Já que o projeto é para os mesmos ambientes do 1º e do 2º andar, localizados exatamente nas mesmas posições, não haverá carga de transmissão entre a divisão desses ambientes, visto que ambos estarão em funcionamento e condicionados durante o mesmo tempo.

Além disso, o projeto foi pensado no horário em que o RU estivesse com a maior movimentação do dia, no caso, 12:00 horas.

3.1 Parâmetros Iniciais

Os dados utilizados como parâmetros iniciais para o cálculo da carga térmica foram baseados na norma ABNT NBR 16401-2: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários – Parte 2: Parâmetros de Conforto Térmico e extraídos do site do INMET. Além disso, houve o auxílio da carta psicrométrica e do site Agais para a leitura de dados mais precisos da carta. Como a cidade de Russas não possui estação meteorológica, foram considerados os dados da estação da cidade mais próxima e que apresentasse um clima semelhante. Por isso, foram utilizados os dados fornecidos pela estação da cidade de Jaguaruana, cerca de 24 km de distância de Russas, baseados no período mais quente do ano na região, no caso o mês de dezembro. Para os recintos internos não condicionados, foi adotada a temperatura do ambiente externo acrescida de 3 °C como pede a norma ABNT NBR 16655-3: Instalação de sistemas residenciais de ar-condicionado – *Split* e compacto – Parte 3: Método de cálculo da carga térmica residencial (2019, p. 5). Todos os parâmetros iniciais dos ambientes que foram utilizados no projeto se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros iniciais do projeto

Parâmetros Iniciais	Valores
Pressão atmosférica local (kPa)	101,3
TBS externa (°C)	32,80
Umidade relativa externa (%)	46,32
TBS desejada para ambientes que serão climatizados (°C)	24,00
Umidade relativa desejada para ambientes que serão climatizados	50%
TBS ambientes internos não condicionados (°C)	35,80
Umidade absoluta externa (kg/kg)	0,0145
Umidade absoluta desejada para ambientes que serão climatizados (kg/kg)	0,0093
Umidade absoluta ambientes internos não condicionados (kg/kg)	0,0172

Fonte: Elaboração própria (2022).

3.2 Características da construção

Para facilitar a compreensão, todos os elementos que foram utilizados para algum determinado cálculo foram legendados, como mostra a Tabela 2, em que suas representações na planta baixa podem ser vistas nos Anexos D, E, F e G.

Tabela 2 - Descrição dos elementos construtivos do 1º e 2º andar do RU e suas legendas

(continua)

Elemento	Legenda
Porta 1	Porta de vidro frontal do pátio de refeições
Porta 2	Porta de vidro traseira do pátio de refeições
Porta 3	Porta de vidro esquerda para entrada no pátio de refeições
Porta 4	Porta de vidro direita para entrada no pátio de refeições
Porta 5	Porta de madeira da sala de lavar louças
Porta 6	Porta de vidro frontal da sala do nutricionista
Porta 7	Porta de madeira lateral esquerda da sala do nutricionista
Porta 8	Porta de madeira lateral direita da sala do nutricionista
Porta 9	Porta de madeira lateral esquerda da sala de <i>tickets</i>
Janelas 1	Janelas de vidro frontal (menor) do pátio de refeições
Janelas 2	Janelas de vidro frontal (maior) do pátio de refeições
Janelas 3	Janelas de vidro esquerda (maior) do pátio de refeições

Tabela 2 - Descrição dos elementos construtivos do 1º e 2º andar do RU e suas legendas

(conclusão)

Elemento	Legenda
Janelas 4	Janelas de vidro esquerda (menor) do pátio de refeições
Janelas 5	Janelas de vidro direita (maior) do pátio de refeições
Janelas 6	Janelas de vidro direita (menor) do pátio de refeições
Janela 7	Janela de vidro frontal da sala do nutricionista
Janela 8	Janela de vidro esquerda da sala do nutricionista
Janela 9	Janela de vidro direita da sala de <i>tickets</i>
Janelas 10	Janelas de vidro frontal da sala de <i>tickets</i>
Parede 1	Parede frontal do pátio de refeições
Parede 2	Parede esquerda do pátio de refeições
Parede 3	Parede direita do pátio de refeições
Parede 4	Parede traseira do pátio de refeições
Parede 5	Parede frontal para entrada no pátio de refeições, lado direito
Parede 6	Parede frontal para entrada no pátio de refeições, lado esquerdo
Parede 7	Parede direita para entrada no pátio de refeições, lado direito
Parede 8	Parede esquerda para entrada no pátio de refeições, lado esquerdo
Parede 9	Parede frontal da sala de lavar louça
Parede 10	Parede lateral da sala de lavar louça
Parede 11	Parede frontal da sala do nutricionista
Parede 12	Parede esquerda da sala do nutricionista
Parede 13	Parede direita da sala do nutricionista ao lado do banheiro
Parede 14	Parede direita da sala do nutricionista ao lado do ambiente externo
Parede 15	Parede traseira da sala do nutricionista
Parede 16	Parede frontal da sala de <i>tickets</i>
Parede 17	Parede esquerda da sala de <i>tickets</i>
Parede 18	Parede direita da sala do nutricionista ao lado do banheiro
Parede 19	Parede traseira da sala do nutricionismo

Fonte: Elaboração própria (2022).

Nas Tabelas 3, 4 e 5 estão dispostas as áreas das paredes, janelas e portas dos ambientes que serão condicionados. Para obter essas dimensões foram realizadas medições em campo e houve também o auxílio da planta baixa do local, que pode ser vista no Anexo H,

disponibilizada pela prefeitura do campus através do *software* AutoCAD. As áreas das paredes estão descontadas de aberturas, janelas e portas que estão presentes na sua estrutura, já que será realizado um cálculo separado para esses componentes.

Tabela 3 - Áreas dos elementos construtivos do pátio de refeições do 1º e 2º andar

(continua)

Elemento construtivo	Área (m²)
Telhado do pátio	303,871
Porta 1 (área sem azulejo)	2,2
Porta 1 (área com azulejo)	2,0
Porta 2 (área sem azulejo)	2,2
Porta 2 (área com azulejo)	2,0
Janelas 1	1,94
Janelas 2	2,69
Janelas 3	13,59
Janelas 4	1,36
Janelas 5	18,12
Janelas 6	1,36
Porta 3 (área sem azulejo)	0,69
Porta 3 (área com azulejo)	0,73
Porta 4 (área sem azulejo)	0,69
Porta 4 (área com azulejo)	0,73
Parede 1 (área sem azulejo)	8,84
Parede 1 (área com azulejo)	6,25
Parede 2 (área sem azulejo)	25,52
Parede 2 (área com azulejo)	21,30
Parede 3 (área sem azulejo)	32,49
Parede 3 (área com azulejo)	27,35
Parede 4 (área sem azulejo)	25,76
Parede 4 (área com azulejo)	13,20
Parede 5 (área sem azulejo)	2,95
Parede 5 (área com azulejo)	1,55
Parede 6 (área sem azulejo)	2,95

Tabela 3 - Áreas dos elementos construtivos do pátio de refeições do 1º e 2º andar

(conclusão)

Elemento construtivo	Área (m²)
Parede 6 (área com azulejo)	1,55
Parede 7 (área sem azulejo)	2,82
Parede 7 (área com azulejo)	1,12
Parede 8 (área sem azulejo)	2,82
Parede 8 (área com azulejo)	1,12
Abertura grande sala de lavar louça	1,25
2 aberturas pequenas sala de lavar louça	0,05
Porta 5 (área sem azulejo)	0,88
Porta 5 (área com azulejo)	0,80
Parede 9 (área sem azulejo)	9,32
Parede 9 (área com azulejo)	5,25
Parede 10 (área sem azulejo)	6,56
Parede 10 (área com azulejo)	3,45

Fonte: Elaboração própria (2022).

Tabela 4 - Áreas dos elementos construtivos da sala do nutricionista do 1º e 2º andar

Elemento construtivo	Área (m²)
Telhado da sala do nutricionista	11,202
Porta 6 (área sem azulejo)	0,88
Porta 6 (área com azulejo)	0,80
Janela 7	1,56
Porta 7	1,68
Porta 8	1,68
Janela 8	6,51
Parede 11 (área sem azulejo)	3,51
Parede 11 (área com azulejo)	2,33
Parede 12	3,18
Parede 13	6,35
Parede 14	3,34
Parede 15	6,44

Fonte: Elaboração própria (2022).

Tabela 5 - Áreas dos elementos construtivos da sala de *tickets* do 1º e 2º andar

Elemento construtivo	Área (m²)
Telhado da sala de <i>tickets</i>	8,722
Porta 9	1,68
Janela 9	0,31
Janelas 10	3,24
Parede 16	7,08
Parede 14	5,43
Parede 18	6,79
Parede 19	10,32

Fonte: Elaboração própria.

Algumas paredes, internas do pátio de refeições e externas da sala do nutricionista, apresentam azulejos branco até uma certa altura, como mostra a Figura 18, o que faz com que essa parte da parede tenha algumas mudanças nas propriedades térmicas de ganho de calor, por isso, serão consideradas separadas no cálculo do coeficiente global de transferência de calor do restante da parede que não possuem esses azulejos, porém serão somadas no cálculo da carga térmica. As dimensões dessas paredes estão especificadas na Tabela 6.

As paredes que envolvem as salas de *tickets* e as portas das entradas do RU apresentam pastilhas laranja de azulejo, como mostram as Figura 19 e 20 respectivamente, diferentemente das outras, o que faz com que sejam, também, calculadas separadamente e somadas posteriormente.

Tabela 6 - Dimensões das partes das paredes com e sem azulejo do 1º e 2º andar

Elemento	Altura (m)
Parede sem azulejo	1,9
Parede com azulejo	1,0

Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 18 - Vista interna de uma das paredes do RU com uma parte com azulejos



Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 19 - Vista de uma das paredes da sala de *tickets* com pastilhas de azulejo laranja



Fonte: Elaboração própria (2022).

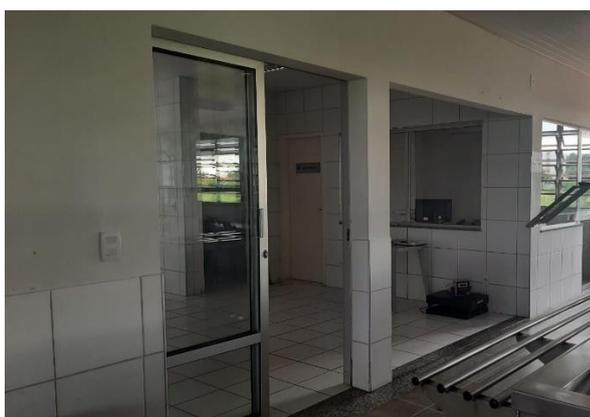
Figura 20 - Vista das paredes da entrada do RU com pastilhas de azulejo laranja



Fonte: Elaboração própria (2022).

Outra consideração que foi tomada para a construção foi que a parede traseira do pátio de refeições, Figura 21, tivesse sua abertura fechada. Atualmente, a parede traseira do pátio apresenta uma grande área aberta e, se fosse considerada no projeto, haveria uma grande entrada de fluxo de ar desnecessário para o pátio, o que tornaria a capacidade necessária para refrigeração bem maior. Dessa forma, com essa consideração, a economia de energia e custo com equipamentos será menor.

Figura 21 - Abertura da parede traseira do pátio de refeições



Fonte: Elaboração própria (2022).

O pátio faz fronteira com a parede frontal da sala do nutricionista e com as paredes internas da sala de lavar louça. Isso será considerado no cálculo das cargas térmicas de transmissão e infiltração.

4 RESULTADOS

4.1 Resistências térmicas dos elementos presentes na construção

Os dados das resistências térmicas foram extraídos da norma ABNT NBR 16655-3 (2019, p. 7) e do livro Çengel e Ghajar (2012, p. 873). Para os elementos que não possuíam dados da resistência térmica, foi utilizada a equação (4), em que as condutividades térmicas foram extraídas do livro Çengel e Ghajar (2012, p. 872-873), da norma EN 12524: *Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulated design values* (2017, p. 7) e do catálogo técnico da Braskem (2002, p. 7).

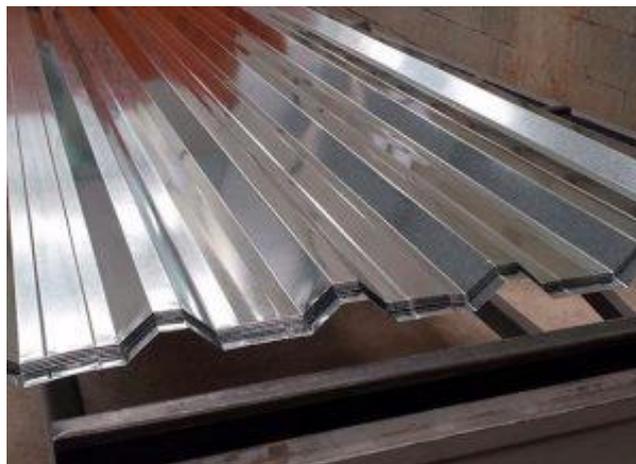
A Tabela 7 apresenta os valores de resistência térmica de cada elemento construtivo do recinto para que sejam utilizados no cálculo da carga térmica. Como não foi possível obter detalhadamente os materiais internos que compõem as paredes e o teto, foi admitido que eles continham os elementos presentes em construções padrões do nordeste brasileiro. O forro dos recintos é composto por PVC, Figura 22, e o telhado é formado por telhas de alumínio trapezoidal, como as da Figura 23.

Figura 22 - Forro de PVC do teto do RU



Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 23 - Exemplo de telha de alumínio trapezoidal



Fonte: Telhas barreiro (2019).

Tabela 7 - Resistência térmica dos materiais presentes na construção do RU

Material	R (m² °C/W)
Filme do ar externo	0,044
Reboque + pintura	0,034
Argamassa de cimento	0,026
Bloco de tijolo	0,197
Concreto laje maciça contrapiso	0,079
Vidro	0,008
Filme do ar interno	0,121
Pastilha de azulejo laranja	0,005384615
Azulejo cerâmico branco	0,007692308
Telhado trapezoidal de alumínio	0,000002252
Forro de PVC	0,171
Madeira	0,25

Fonte: Elaboração própria (2022).

4.2 Cálculo dos coeficientes globais de transferência de calor dos elementos

Para serem aplicados nas equações de carga térmica, usamos os dados da resistividade térmica para calcular o coeficiente global de transferência de calor através da equação (5). Esse coeficiente irá variar de acordo com a composição de cada elemento construtivo. Seus valores podem ser encontrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Coeficientes globais de transferência de calor dos elementos construtivos do RU

Elementos construtivos	Elementos compostos	U (W/m² °C)
Portas e janelas de vidro	Filme do ar externo + vidro + filme do ar interno	5,780
Paredes sem azulejo	Filme do ar externo + reboque e pintura + bloco de tijolo + reboque e pintura + filme do ar interno	2,793
Paredes com azulejo interno ou externo branco	Filme do ar externo + reboque e pintura + bloco de tijolo + argamassa de cimento + azulejo cerâmico branco + filme do ar interno	2,796
Paredes com azulejo interno e externo branco	Filme do ar externo + azulejo cerâmico branco + argamassa de cimento + bloco de Tijolo + argamassa de cimento + azulejo cerâmico branco + filme do ar interno	2,798
Paredes com pastilhas de azulejo laranja externo	Filme do ar externo + argamassa de cimento + pastilha de azulejo laranja + bloco de tijolo + reboque e pintura + filme do ar interno	2,814
Paredes com pastilhas de azulejo laranja externo e azulejo branco interno	Filme do ar externo + argamassa de cimento + pastilha de azulejo laranja + bloco de tijolo + argamassa de cimento + azulejo cerâmico branco + filme do ar interno	2,816
Portas de madeira	Filme do ar externo + madeira + filme do ar interno	2,131
Telhado	Filme do ar externo + telha trapezoidal de alumínio + concreto laje maciça contrapiso + bloco de tijolo + forro de PVC + filme do ar interno	2,295

Fonte: Elaboração própria (2022).

4.3 Cálculo das cargas térmicas do RU

4.3.1 Cálculo da carga térmica de transmissão

Para o cálculo da carga de transmissão, foi aplicada a equação (6). As cargas térmicas das paredes que possuem azulejo até uma certa altura foram somadas com as partes que não possuem azulejo, resultando em uma carga unificada para cada elemento.

O valor indicado para as janelas e portas representam a soma da transmissão de todas as janelas e portas localizadas naquela posição do prédio.

No pátio de refeições, foram levadas em consideração a carga térmica das paredes e da porta da sala de lavar louças que estão no ambiente interno do recinto.

A parede lateral direita da sala do nutricionista apresenta uma parte em contato com o ambiente externo, parede 14, e a outra parte em contato com um banheiro, parede 13, ou seja, um recinto interno, o que leva a diferentes temperaturas no cálculo da carga de transmissão. Na tabela calculada, essas partes foram somadas, unificando o valor da carga térmica para a parede lateral direita.

As cargas térmicas de transmissão para todos os ambientes do 1º e do 2º andar estão dispostas nas Tabelas 9, 10 e 11.

Tabela 9 - Carga térmica de transmissão do pátio de refeições do 1º e 2º andar

(continua)	
Elemento construtivo	C_{trans} (W)
Telhado pátio (2º andar)	6137,84
Parede 1	371,10
Janelas 1 + Janelas 2	235,68
Porta 1	106,82
Porta 2	106,82
Parede 3 + Parede 5	1472,29
Janelas 5 + janelas 6	990,69
Porta 3	36,20
Parede 7	97,62
Parede 2 + Parede 7	1152,22
Janelas 3 + janelas 4	760,32

Tabela 9 - Carga térmica de transmissão do pátio de refeições do 1º e 2º andar

(conclusão)

Elemento construtivo	C_{trans} (W)
Porta 4	36,20
Parede 8	97,62
Parede 4	1284,53
Janela 7	106,40
Porta 6	114,59
Parede 9	480,80
Parede 10	330,16
Porta 5	42,24

Fonte: Elaboração própria (2022).

Tabela 10 - Carga térmica de transmissão da sala do nutricionista do 1º e 2º andar

Elemento construtivo	C_{trans} (W)
Telhado sala nutricionista (2º andar)	226,28
Porta 7	42,22
Porta 8	42,22
Janela 8	444,03
Janela 7	106,40
Porta 6	114,59
Parede 11	192,46
Parede 12	104,84
Parede 13 + parede 14	291,38
Parede 15	212,20

Fonte: Elaboração própria (2022).

Tabela 11 - Carga térmica de transmissão da sala de *tickets* do 1º e 2º andar

Elemento construtivo	C_{trans} (W)
Telhado sala de <i>tickets</i> (2º andar)	176,17
Porta 9	31,50
Janela 9	15,95
Janelas 10	164,78
Parede 16	168,50
Parede 17	129,03
Parede 18	168,17
Parede 19	255,64

Fonte: Elaboração própria (2022).

4.3.2 Cálculo da carga térmica de insolação

A carga térmica de insolação estará presente apenas no teto dos ambientes do 2º andar, já que são os únicos em contato direto com a luz solar considerando o horário de 12:00 horas adotado para a elaboração do projeto. Para o cálculo é utilizada a equação (7) e o ΔT , que representa o acréscimo de temperatura na equação, foi obtido na tabela contida no Anexo A e foi adotado o valor considerando uma cor média para o telhado. Com os valores da área do teto, do coeficiente global de transferência de calor e da diferença de temperatura entre os ambientes, é possível realizar o cálculo, cujo resultado está mostrado na Tabela 12.

Tabela 12 - Carga térmica de insolação dos ambientes do 2º andar

Local	C_{inso} (W)
Pátio de refeições (2º andar)	17716,03
Sala do nutricionista (2º andar)	653,11
Sala de <i>tickets</i> (2º andar)	508,50

Fonte: Elaboração própria (2022).

4.3.3 Cálculo da carga térmica devido a ocupação

Na carga devido a ocupação foi utilizada a equação (8) para realizar o cálculo, cujos resultados podem ser vistos na Tabela 13. No Anexo B podemos encontrar os valores de calor sensível e calor latente para as atividades que foram consideradas no cálculo. Para as pessoas

que estão no almoço, foi considerado o nível da atividade como “trabalho sedentário”. Já para os servidores trabalhando no pátio de refeições foi considerado o nível de atividade “parado em pé, trabalho moderado; caminhando”. Para os servidores trabalhando nas salas de *tickets* e nutricionista, foi considerada a atividade de “sentado, trabalho leve”.

Como o número máximo de ocupantes só deveria ser levado em consideração caso o tempo de permanência no ambiente fosse superior a 90 minutos, foi feita uma estimativa com base no número de pessoas que entram no ambiente em um determinado intervalo de tempo através de dados disponibilizados pelo setor responsável pelo RU.

Tabela 13 - Carga térmica devido a ocupação para os ambientes do 1º e 2º andar

Local	N	Nível de atividade	C_{lat} (W)	C_{sen} (W)	C_{ocu} (W)
Pátio de refeições	190	Trabalho sedentário	80	80	30400
	5	Parado em pé, trabalho moderado; caminhando	75	55	650
Sala do nutricionista	1	Sentado, trabalho leve	70	45	115
Sala de <i>tickets</i>	1	Sentado, trabalho leve	70	45	115

Fonte: Elaboração própria (2022).

4.3.4 Cálculo da carga térmica de iluminação

Através da equação (9), podemos calcular a carga devido a iluminação. Foi realizada a visita nos recintos do projeto para constatar a quantidade e o tipo das lâmpadas utilizadas. Os valores de potência foram obtidos a partir do site do fabricante. Como no horário considerado para o dimensionamento as lâmpadas do pátio de refeições estão apagadas elas não entraram no cálculo da carga térmica do ambiente. Já as lâmpadas da sala do nutricionista e da sala de *tickets* são utilizadas no momento do cálculo devido serem ambientes mais fechados, com menos iluminação. O resultado da carga térmica nos recintos e os outros dados podem ser vistos na Tabela 14.

Tabela 14 - Carga térmica de iluminação para os ambientes do 1º e 2º andar

Local	Tipo	Quantidade	P (W)	<i>C_{ilu}</i> (W)
Pátio de refeições	Kian LED Tubular	56	40	0
Sala do nutricionista	Kian LED Tubular	2	40	80
Sala de <i>tickets</i>	Kian LED Tubular	4	40	160

Fonte: Elaboração própria (2022).

4.3.5 Cálculo da carga térmica dos equipamentos

O cálculo da carga térmica devido a presença dos equipamentos foi realizado com a equação (10), cujo resultado pode ser visto na Tabela 15. Assim como para a carga térmica de iluminação, também foi realizada uma visita aos recintos para averiguar quais os equipamentos presentes nos ambientes que influenciariam no ganho de carga térmica.

Os dados utilizados no cálculo da carga térmica foram obtidos na norma ABNT NBR 16401-1 para os computadores, monitores e bebedouro, como pode ser visto no Anexo I, e sites de venda dos produtos, para os demais equipamentos. Nos casos dos balcões térmicos e da máquina de suco, como não foram encontrados dados sobre as suas taxas de dissipação de calor, foram adotados os valores de suas potências, o que pode ser utilizado como uma aproximação.

Tabela 15 - Carga térmica dos equipamentos para os ambientes do 1º e 2º andar

Local	Quantidade	Equipamento	P_t (W)	C_{eq} (W)
Pátio de refeições	2	Computadores (gabinete)	55	110
	2	Monitor	55	110
	2	Balcão térmico quente	4030	8060
	2	Balcão térmico frio	690	1380
	1	Máquina de suco	400	400
	1	Bebedouro	350	350
Sala do nutricionista	1	Computadores (gabinete)	55	55
	1	Monitor	55	55
Sala de <i>tickets</i>	1	Computadores (gabinete)	55	55
	1	Monitor	55	55

Fonte: Elaboração própria (2022).

4.3.6 Cálculo da carga térmica de infiltração

Para o cálculo da carga térmica de infiltração foi realizada uma verificação dos componentes. Todos eles estavam bem vedados, com somente pequenas aberturas nas portas e nas janelas que possibilitavam a passagem de ar. Por isso, foi adotado somente o comprimento da fresta como parâmetro para a infiltração e não todo o perímetro do componente.

Para as portas que permanecem sempre abertas, no caso as portas 1, 2, 3 e 4, Creder (2004, p. 107) estima um valor predefinido de vazão de ar que adentra o ambiente de acordo com o tamanho dessas portas. Para as aberturas contidas na parede da sala de lavar louça, Figura 24, foi estimada a vazão de ar fazendo uma comparação da soma de suas áreas com a quantidade de vazão de ar infiltrado que uma porta de até 90 cm apresenta segundo a norma, já que são áreas muito próximas. Para as janelas e partes fechadas das portas, é possível estimar a vazão de ar que entre pelas frestas através da tabela no Anexo C. Nesse caso foram utilizados os dados das janelas do tipo basculante, que é o modelo presente no RU, em que apresenta 3 m³/h por metro de fresta, e das portas bem ajustadas, em que possuem 6,5 m³/h por metro de fresta, para calcular a vazão de ar V que entra pelas frestas dos elementos presentes nos recintos.

Figura 24 - Aberturas da sala de lavar louças



Fonte: Elaboração própria (2022).

Através das equações (11) e (12) podemos calcular o calor sensível e o calor latente do ar infiltrado, para que seja feita a soma, utilizando a equação (13), e encontrada a sua carga térmica, que é mostrada para os seus devidos ambientes nas Tabelas 16, 17 e 18, onde L representa o comprimento da fresta em metros.

Tabela 16 - Carga térmica de infiltração para o pátio de refeições do 1º e 2º andar

Local	L (m)	V (m³/h)	Q_s (W)	Q_l (W)	C_{inf} (W)
Janelas 2	2,8	8,40	24,93	36,28	61,21
Janelas 1	2,1	6,30	18,70	27,21	45,91
Porta 1 (parte aberta)	-	2000,00	5935,95	8638,05	14574,04
Porta 1 (parte fechada)	1,0	6,50	19,29	28,07	47,37
Janelas 3	15,6	46,80	138,90	202,13	341,03
Janelas 4	1,4	4,20	12,47	18,14	30,61
Porta 3 (parte aberta)	-	1350,00	4006,77	5830,71	9837,48
Porta 3 (parte fechada)	0,85	5,53	16,40	23,86	40,26
Janelas 5	20,8	62,40	185,20	269,51	454,71
Janelas 6	1,4	4,20	12,47	18,14	30,61
Porta 4 (parte aberta)	-	1350,00	4006,77	5830,71	9837,48
Porta 4 (parte fechada)	0,85	5,53	16,40	23,86	40,26
Porta 5	0,80	5,20	20,69	34,12	54,82
Abertura para bandejas					
sala de lavar louça					
+	-	1350,00	5372,71	8858,19	14230,91
Abertura para talheres					
sala de lavar louça					
Porta 2 (parte aberta)	-	2000,00	7959,57	13123,25	21082,82
Porta 2 (parte fechada)	1,0	6,50	25,87	42,65	68,52
Porta 6	0,8	5,20	20,69	34,12	54,82
Janela 7	3,10	9,30	37,01	61,02	98,04

Fonte: Elaboração própria (2022).

Tabela 17 - Carga térmica de infiltração para a sala do nutricionista do 1º e 2º andar

Local	L (m)	V (m³/h)	Q_s (W)	Q_l (W)	C_{inf} (W)
Porta 7	0,8	5,20	20,69	34,12	54,82
Porta 8	0,8	5,20	20,69	34,12	54,82
Janela 8	1,3	3,90	15,52	25,59	41,11
Porta 6	0,8	5,20	20,69	34,12	54,82
Janela 7	3,1	9,30	37,01	61,02	98,04

Fonte: Elaboração própria (2022).

Tabela 18 - Carga térmica de infiltração para a sala de *tickets* do 1º e 2º andar

Local	L (m)	V (m ³ /h)	Q_s (W)	Q_l (W)	C_{inf} (W)
Porta 9	0,8	5,20	15,43	22,46	37,89
Janela 9	0,55	1,65	4,90	7,13	12,02
Janelas 10	2,4	7,20	21,37	31,10	52,47

Fonte: Elaboração própria (2022).

4.4 Carga térmica total

Somando todas as cargas térmicas calculadas, temos na Tabela 19 o valor da carga que deve ser retirada do ambiente com o objetivo de resfriá-lo. Pode ser notado um valor de carga térmica total maior no segundo andar. Isso se dá justamente ao fato dos ambientes do segundo andar trocarem calor pelo teto nas formas de transmissão e insolação. Isso não ocorre nos ambientes do primeiro andar, já que faz fronteira com os ambientes do segundo andar, que estão nas mesmas temperaturas devido a simultaneidade de funcionamento.

Tabela 19 - Carga térmica total de cada ambiente do RU

Andar	Local	Carga Térmica (W)	Carga térmica total por andar (W)	Carga térmica total por andar (BTU/h)
1º	Pátio de refeições	120213,19	123761,34	422291,23
	Sala do nutricionista	2216,98		
	Sala de <i>tickets</i>	1331,18		
2º	Pátio de refeições	144067,05	149179,27	509020,81
	Sala do nutricionista	3096,36		
	Sala de <i>tickets</i>	2015,86		

Fonte: Elaboração própria (2022).

5 SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Para este projeto foi pensado a instalação de dois sistemas de ar-condicionado possíveis, um utilizando equipamentos do tipo *split* separados e outro utilizando o sistema VRV, avaliando a carga térmica total dimensionada e os custos a curto e longo prazo que cada sistema poderá trazer, em que a decisão ficará a cargo do setor responsável por essa avaliação financeira considerando o valor máximo que poderá ser gasto nesse projeto.

Ambos os sistemas propostos utilizam a tecnologia inverter de funcionamento para proporcionar um melhor desempenho e uma economia no consumo de energia.

5.1 Proposta utilizando equipamentos *splits* separados

Os equipamentos do tipo *split* que foram escolhidos para o projeto foram o *hi wall* e o piso teto, considerando o forro de PVC e a baixa altura do teto do ambiente na possibilidade de aplicar outros tipos.

Foi escolhida a marca Elgin devido a grande capacidade de até 60000 BTU/h do seu modelo piso teto inverter, além de possuir uma classificação A nos testes do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e utilizar o gás R-410A como fluido refrigerante em todos os equipamentos, que é considerado um gás mais ecológico que os demais. A proposta de instalação utilizando o sistema *split* nos ambientes do restaurante universitário está localizada na Tabela 20.

Tabela 20 - Proposta de equipamentos para climatização dos ambientes do RU utilizando o sistema *split*

Ambiente	Quantidade	Capacidade	Tipo	Modelo
Pátio de refeições 1º andar	7	60000 BTU/h	Piso teto	PVFC60B2CB
Pátio de refeições 2º andar	7	60000 BTU/h	Piso teto	PVFC60B2CB
Pátio de refeições 2º andar	2	36000 BTU/h	Piso teto	PVFC36B2CB
Sala do nutricionista 1º andar	1	9000 BTU/h	<i>Hi wall</i>	45HVFC09B2IB
Sala do nutricionista 2º andar	1	12000 BTU/h	<i>Hi wall</i>	45HVFC12B2IB
Sala de <i>tickets</i> 1º andar	1	9000 BTU/h	<i>Hi wall</i>	45HVFC09B2IB
Sala de <i>tickets</i> 2º andar	1	9000 BTU/h	<i>Hi wall</i>	45HVFC09B2IB

Fonte: Elaboração própria (2022).

5.2 Proposta utilizando o sistema VRV

Para esse sistema, foram consultados os catálogos de várias marcas e o VRV Inova da marca Daikin foi o escolhido por ser o que melhor se encaixava dentro da proposta do projeto de acordo com a capacidade dos seus equipamentos. Será utilizada a combinação de 3 unidades externas em cada VRV para alcançar a capacidade desejada para os ambientes, como mostra a Figura 25. A proposta para a utilização do sistema VRV no restaurante universitário pode ser vista na Tabela 21.

Figura 25 - Combinação das unidades VRV Daikin



Fonte: Catálogo Daikin (2019).

Tabela 21 - Proposta de equipamentos para climatização dos ambientes do RU utilizando o sistema VRV

Ambiente	Quantidade	Capacidade da unidade evaporadora	Tipo	Modelos dos condensadores combinados	Capacidade da unidade condensadora
Pátio de refeições 1º andar	6	52900 BTU/h	Piso teto		
Pátio de refeições 1º andar	2	48000 BTU/h	Piso teto	RXQ12AYM +	440000 BTU/h
Sala do nutricionista 1º andar	1	9600 BTU/h	<i>Hi wall</i>	RXQ16AYM +	
				RXQ18AYM	
Sala de <i>tickets</i> 1º andar	1	7500 BTU/h	<i>Hi wall</i>		
Pátio de refeições 2º andar	8	52900 BTU/h	Piso teto		
Pátio de refeições 2º andar	1	48000 BTU/h	Piso teto		
Pátio de refeições 2º andar	1	38200 BTU/h	Piso teto	RXQ18AYM +	532000 BTU/h
				RXQ18AYM +	
				RXQ20AYM	
Sala do nutricionista 2º andar	1	12300 BTU/h	<i>Hi wall</i>		
Sala de <i>tickets</i> 2º andar	1	7500 BTU/h	<i>Hi wall</i>		

Fonte: Elaboração própria (2022).

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusão

O presente trabalho apresentou o dimensionamento da carga térmica presente em alguns locais do restaurante universitário a fim de mostrar propostas para o condicionamento do ar desses ambientes, com o objetivo de garantir um maior conforto térmico para os frequentadores desses recintos e melhorar a qualidade do ar, considerando, também, o clima quente da cidade em que o local está situado.

As normas ABNT NBR 16665-3, ABNT NBR 1641-1 e ABNT NBR 16401-2 foram utilizadas como embasamento no cálculo da carga térmica, além do livro Instalações de Ar Condicionado (CREDER, 2004). Com base nessas referências, observamos que a grande maioria da carga térmica total veio das parcelas das cargas de condução, insolação e infiltração, e, dessa forma, podemos constatar a influência das condições do ar exterior e dos elementos construtivos presentes nos recintos através das suas formas e dos materiais que o compõem.

Para os sistemas de condicionamento de ar, foram apresentadas duas propostas possíveis de utilização para atender as demandas de carga térmica dimensionadas, uma utilizando equipamentos do tipo *split*, piso teto e *hi wall*, e outra sendo aplicado um sistema VRV. Ambas propostas atendem as exigências de cargas térmicas solicitadas, permitindo que, qualquer que seja a proposta escolhida, o ambiente esteja dentro das condições que foi projetado, evitando custos desnecessários a curto e longo prazo por projetos subdimensionados ou superdimensionados.

6.2 Trabalhos futuros

Em trabalhos futuros, pode ser realizado o modelamento dos ambientes através de um *software* de energia e análise de carga térmica, como o *Energyplus* e o *DesignBuilder*, e ser feita uma comparação entre as cargas calculadas pelo *software* e através das normas e literaturas. Pode ser realizado também, um PMOC para os aparelhos de condicionamento de ar que irão compor os recintos do projeto, a fim de garantir a integridade e durabilidade dos equipamentos.

REFERÊNCIAS

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Handbook Fundamentals**. Atlanta: ASHRAE, 2021.

ARAÚJO, Eliete de Pinho. **Apostila de ar condicionado e exaustão**. Brasília, DF: [s. n.], 2011. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/7455>. Acesso em: 4 nov. 2022.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16655-3**: Instalação de sistemas residenciais de ar-condicionado – Split e compacto – Parte 3: Método de cálculo da carga térmica residencial. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Incropera fundamentos de transferência de calor e massa**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

Blog da norte. **O que é um sistema de ar-condicionado VRF e onde usar?**. [s. l.]: Blog da norte, 2022. Disponível em: <https://blogdanorte.com.br/o-que-e-um-sistema-de-ar-condicionado-vrf-e-onde-usar/>. Acesso em: 11 jul. 2022.

Braskem. **PROPRIEDADES DE REFERÊNCIA DOS COMPOSTOS DE PVC**. [s. l.]: Braskem, 2002. Disponível em: https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Tabela_de_Propriedades_de_Referencia_dos_Compostos_de_PVC.pdf. Acesso em: 10 jul. 2022.

BRITISH STANDARD. **BS 12524**: Building materials and products - Hygrothermal properties - Tabulated design values. Bruxelas: European Committee for Standardization, 2000.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

CLETO, Leonilton Tomaz; RODRIGUES, Maurício Salomão. **Ar condicionado: guia prático sobre sistemas de água gelada**. Brasília, DF: [s. n.], 2016. Disponível em: <http://www.protocolodemontreal.org.br/eficiente/repositorio/noticias/documentos/1652.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2022.

CREDER, Hélio. **INSTALAÇÕES DE AR CONDICIONADO**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

Daikin. [catálogo VRV Inova Daikin]. [s. l.]: Daikin, 2022. Disponível em: <https://www.daikin.com.br/static/uploads/conteudos/produtos/220215114326000000.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2022.

Dufrio Refrigeração. **Conheça todas as partes do ar-condicionado**. [s. l.]: Blog Dufrio, 2020. Disponível em: <https://www.dufrio.com.br/blog/ar-condicionado/partes-do-ar-condicionado/>. Acesso em: 15 jun. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro**: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. [Rio de Janeiro]: EPE, 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf. Acesso em: 2 jul. 2022.

FERRAZ, Fagner Barbosa. **Sistemas de climatização**. Bahia, 2012. Disponível em: <https://fagnerferraz.files.wordpress.com/2012/05/sistemas-de-climatizacao.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2022.

Frigelar. **Ar Condicionado**: Convencional X Inverter. [s. l.]: Frigelar, 2017. Disponível em: <https://www.frigelar.com.br/convencional-ou-inverter#:~:text=J%C3%A1%20no%20ar%20condicionado%20Inverter,em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20aos%20aparelhos%20convencionais>. Acesso em: 20 jun. 2022.

Instituto Nacional de Meteorologia. [Tabela de dado das estações]. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A419>. Acesso em: 13 abr. 2022.

LEVEK, Marcelo Zagonel. **Sistema de refrigeração**. [s. l.]: Climátis, 2021. Disponível em: <https://www.climatis.com.br/Blog/sistema-de-refrigeracao/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

MATOS, Rudmar Serafim. **Climatização**. Paraná, 2017. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC153/Apostila/Apostila%20Climatiza%e7%e3o.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2022.

MILLER, Rex.; MILLER, Mark. **AR-CONDICIONADO E REFRIGERAÇÃO**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

NEWPROPERTIES. **Saiba mais sobre a aplicação do conforto térmico em edificações**. [s. l.]: NEWPROPERTIES, 2021. Disponível em: <https://newproperties.com.br/conforto-tecnico-em-construcoes/>. Acesso em: 11 jul. 2022.

Servair. [ar-condicionado piso teto]. [s. l.]: Servair, 2022. Disponível em: <https://servair.com/u-match-floor-ceiling.html>. Acesso em: 10 jul. 2022.

SILVA, Luís César da. **Cálculo das propriedades psicrométricas do ar**. [s. l.]: Agais, 2018. Disponível em: <http://www.agais.com/toolbox/psicrometria3.php>. Acesso em: 12 abr. 2022.

SOUZA, Maisa Pereira de. **INMET APONTA QUE A ÚLTIMA DÉCADA FOI A MAIS QUENTE DO ANO**. [s. l.]: INMET, 2022. Disponível em:

<https://portal.inmet.gov.br/noticias/inmet-aponta-que-a-%C3%BAltima-d%C3%A9cada-foi-a-mais-quente-no-brasil>. Acesso em: 28 mai. 2022.

STOECKER, W. F.; JONES, J. W. **REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO**. São Paulo: McGraw Hill, 1985.

Telhas Barreiro. **Telha galvanizada**: vantagens, aplicações e dicas para compra. [s. l.]: Telhas Barreiro, 2019. Disponível em: <https://telhasbarreiro.com.br/site/telha-galvanizada-vantagens-aplicacoes-e-dicas-para-compra/>. Acesso em: 28 jun. 2022.

**ANEXO A – TABELA COM O ACRÉSCIMO AO DIFERENCIAL DE
TEMPERATURA PARA CARGA DE INSOLAÇÃO**

<i>Superfície</i>	<i>Cor Escura</i>		<i>Cor Média</i>		<i>Cor Clara</i>	
	<i>°F</i>	<i>°C</i>	<i>°F</i>	<i>°C</i>	<i>°F</i>	<i>°C</i>
Telhado	45	25,0	30	16,6	15	8,3
Parede E ou O	30	16,6	20	11,1	10	5,5
Parede N	15	8,3	10	5,5	5	2,7
Parede S	0	0	0	0	0	0

Fonte: Creder (2004, p. 97).

ANEXO B – TAXAS TÍPICAS DE CALOR LIBERADO POR PESSOAS

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

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

NOTA 2 Valores arredondados em 5 W.

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

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

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

Fonte: ABNT NBR 16401-1 (2008, p. 53).

ANEXO C – TABELA DE INFILTRAÇÃO DO AR EXTERIOR

<i>Ar pelas Frestas</i>		
<i>Tipo de Abertura</i>	<i>Observação</i>	<i>m³/h por Metro de Fresta</i>
Janela		
- comum		3,0
- basculante		3,0
- guilhotina c/ caixilho de madeira	Mal ajustada	6,5
	Bem ajustada	2,0
- guilhotina c/ caixilho metálico	Sem vedação	4,5
	Com vedação	1,8
Porta	Mal ajustada	13,0
	Bem ajustada	6,5
<i>Ar pelas Portas</i>		
<i>Local</i>	<i>m³/h por Pessoa Presente no Recinto Condicionado</i>	
	<i>Porta Giratória (1,80 m)</i>	<i>Porta de Vaivém (0,90 m)</i>
Banços	11	14
Barbearias	7	9
Drogarias e farmácias	10	12
Escritórios de corretagem	9	9
Escritórios privados	-	4
Escritórios em geral	-	7
Lojas de cigarros	32	51
Lojas em geral	12	14
Quartos de hospitais	-	7
Restaurantes	3	4
Salas de chá ou café	7	9
<i>Ar pelas Portas Abertas</i>		

Porta de 90 cm – 1.350 m³/h

Porta de 180 cm – 2.000 m³/h

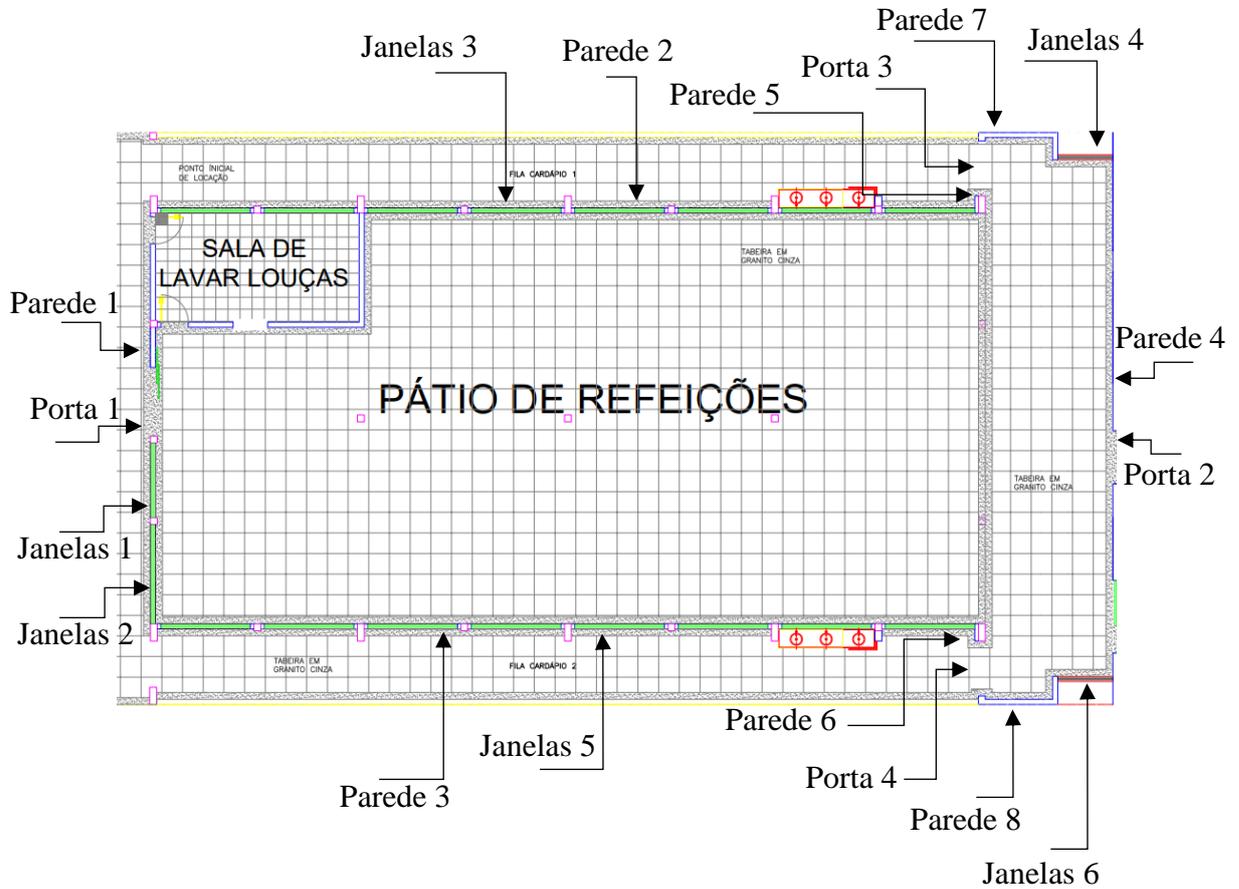
Para contrabalançar a infiltração com tomada de ar nos condicionadores:

Porta de 90 cm – 1.750 m³/h

Porta de 180 cm – 2.450 m³/h

Fonte: Creder (2004, p. 107).

ANEXO D – PLANTA BAIXA DO PÁTIO DE REFEIÇÕES COM LEGENDAS DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS



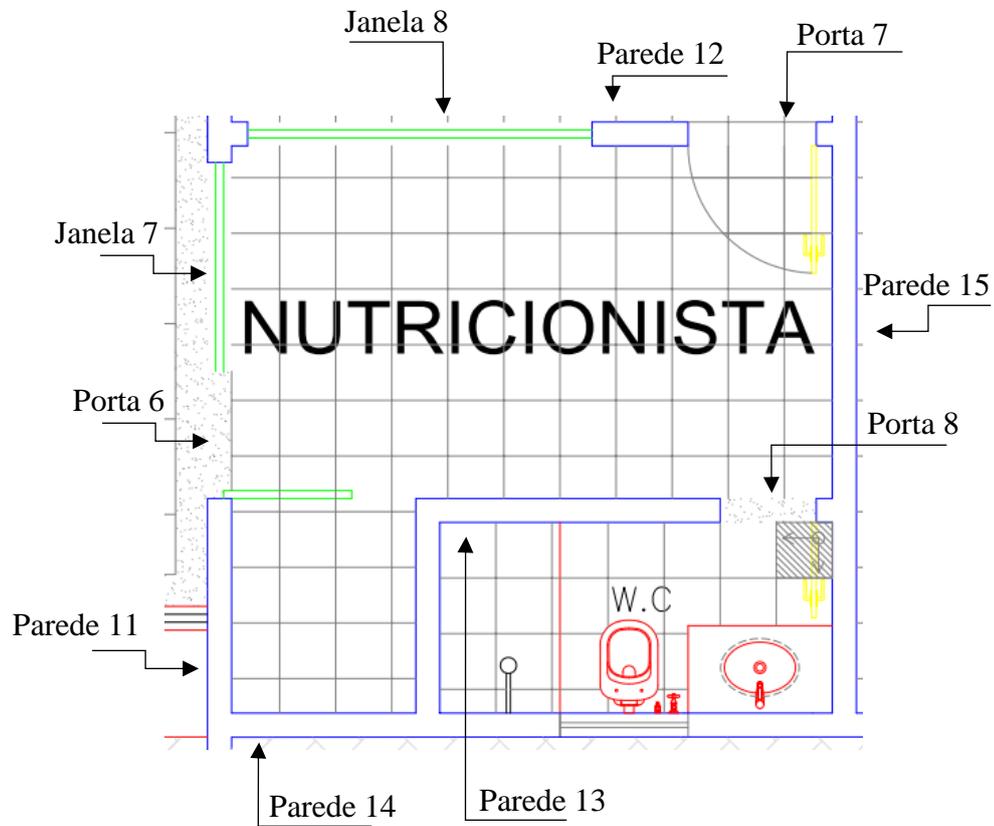
Fonte: Elaboração própria (2022).

**ANEXO E – PLANTA BAIXA DA SALA DE LAVAR LOUÇAS COM LEGENDAS
DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS**



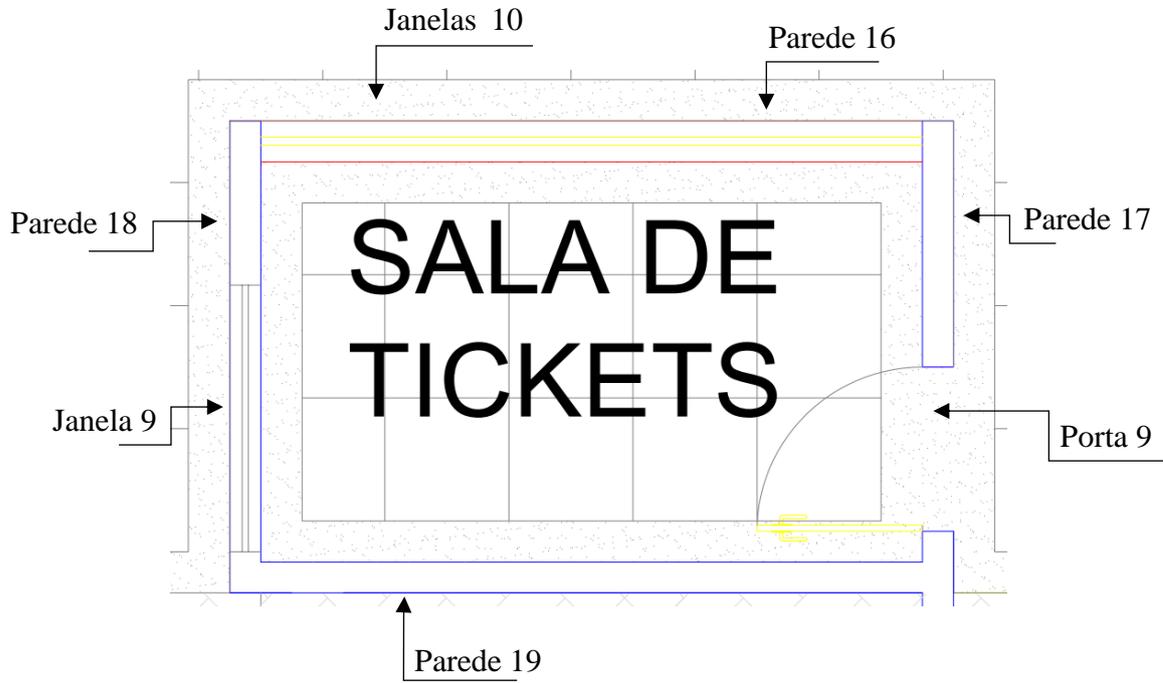
Fonte: Elaboração própria (2022).

**ANEXO F – PLANTA BAIXA DA SALA DO NUTRICIONISTA COM LEGENDAS
DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS**

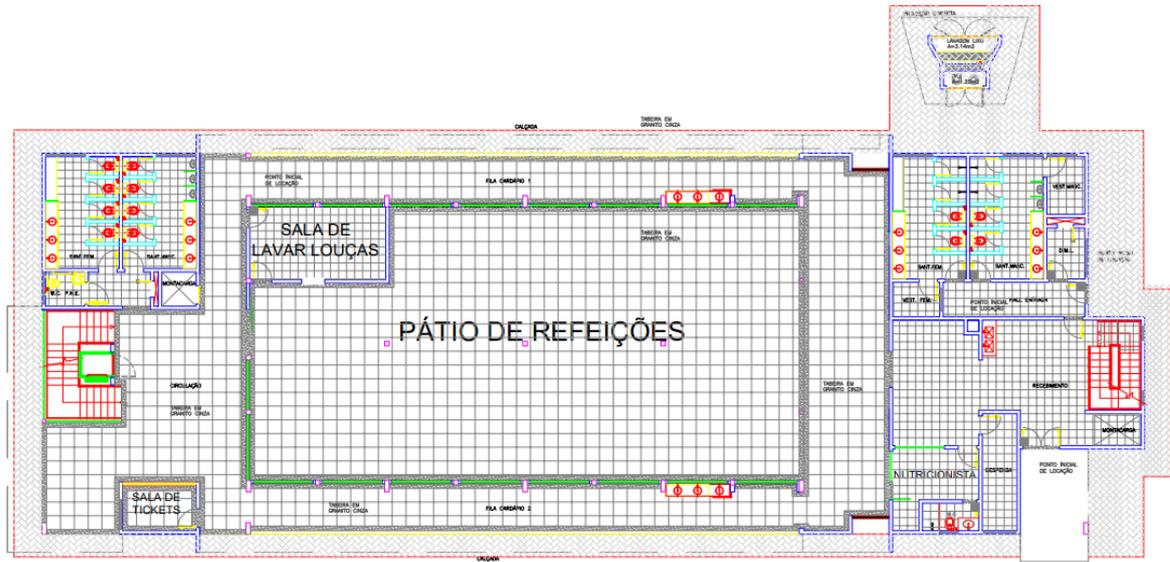


Fonte: Elaboração própria (2022).

**ANEXO G – PLANTA BAIXA DA SALA DE *TICKETS* COM LEGENDAS DOS
ELEMENTOS CONSTRUTIVOS**



Fonte: Elaboração própria (2022).

ANEXO H – PLANTA BAIXA DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO

Fonte: Elaboração própria (2022).

ANEXO I – TAXAS TÍPICAS DE DISSIPAÇÃO DE CALOR DE ALGUNS EQUIPAMENTOS

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

Fonte: ABNT NBR 16401-1 (2008, p. 55).

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 16401-1 (2008, p. 55).