



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ – CAMTUC  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA – FEM**

**PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DA CARGA TÉRMICA COM  
UTILIZAÇÃO DE UMA *SELF CONTAINED* NA IGREJA DO  
EVANGELHO QUADRANGULAR DE VILA PERMANENTE –  
TUCURUÍ**

**RÔMULO LIMA CAVALCANTE**

**Tucuruí-PA  
2022**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ – CAMTUC  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA – FEM**

**PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DA CARGA TÉRMICA COM UTILIZAÇÃO  
DE UMA *SELF CONTAINED* NA IGREJA DO EVANGELHO QUADRANGULAR DE  
VILA PERMANENTE – TUCURUÍ**

**RÔMULO LIMA CAVALCANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus de Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**Orientador: Prof. Msc. Jessé Luís Padilha**

**Tucuruí-PA  
2022**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

C376p Cavalcante, Rômulo Lima.  
Projeto de dimensionamento da carga térmica com utilização de  
uma self contained na Igreja do Evangelho Quadrangular de Vila  
Permanente – Tucuruí / Rômulo Lima Cavalcante. — 2022.  
89 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Me. Jessé Luís Padilha  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade  
Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de  
Engenharia Mecânica, Tucuruí, 2022.

1. Conforto térmico. 2. Climatização. 3. Carga térmica. 4.  
Sistema de dutos. 5. Self contained. I. Título.

CDD 621.402

---




**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ – CAMTUC  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA – FEM**


**PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DA CARGA TÉRMICA COM UTILIZAÇÃO  
DE UMA SELF CONTAINED NA IGREJA DO EVANGELHO QUADRANGULAR  
DE VILA PERMANENTE – TUCURUÍ**

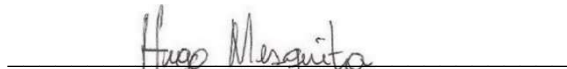
**RÔMULO LIMA CAVALCANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus de Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**BANCA EXAMINADORA**

  
Orientador: Prof<sup>o</sup> Msc. Jessé Luís Padilha  
FEM/CAMTUC/UFPA

  
Membro Interno: Prof<sup>o</sup> Msc. Maciel da Costa Furtado  
FEM/CAMTUC/UFPA

  
Membro Externo: Prof<sup>o</sup> Msc. Hugo de Mesquita  
FEM/CAMTUC/UFPA

**Conceito: . EXC.**

**Tucuruí, 13 de junho de 2022.**

## **AGRADECIMENTOS**

Quero primeiramente agradecer a Deus, pois graças a ele podemos realizar todas as coisas, por ele sempre me dar as oportunidades nos momentos certos e me fazer chegar até aqui depois dessa longa caminhada.

Agradecer a minha amada Avó/Mãe Eni Alves que sempre lutou para que eu tivesse de tudo, sua vida sempre foi uma inspiração para que eu corresse atrás daquilo que eu sempre quis, seus conselhos e sua torcida foram fundamentais, não somente para a conclusão desta etapa, mas sim para minha vida, ela sempre será meu modelo de pessoa que vou levar até o fim da vida.

Quero agradecer a minha amiga, companheira e namorada Thatyelly Almeida que sempre esteve ao meu lado me ajudando e auxiliando sempre que precisei durante a caminhada, o seu apoio foi fundamental para que eu chegasse até aqui com seus conselhos e confiança em mim, sempre me ajudando a ser uma pessoa melhor.

Ao meu Professor Orientador Jessé Padilha que me deu a oportunidade sempre disposto a me ajudar me auxiliando nas minhas dúvidas sendo um grande amigo.

Ao Pastor Edem Viana da IEQVP e responsáveis pelo local em que foi realizado o estudo me ajudaram e foram solícitos no meu TCC me dando liberdade para realizar o projeto.

Ao corpo docente de Engenharia Mecânica da UFPA Campus Tucuruí que tive o prazer de conhecer durante o curso sendo sempre grandes profissionais que me auxiliariam durante a minha graduação mostrando sempre a profissão com responsabilidade e ética e capacitando da melhor forma possível seus discentes.

Aos meus amigos que fiz durante a graduação que foram importantes e dividiram momentos tanto de sufoco quanto de risadas durante este período, não caberia aqui o nome de todos mas saibam que vocês foram importantes (existem amigos mais chegados que irmãos). É uma homenagem ao nosso querido amigo João Everaldo “coquinho” que sempre será lembrado pela nossa turma.

Por fim, a todos que contribuíram direta e indiretamente fica o meu muito obrigado, vocês me ajudaram a alcançar o meu objetivo e me ajudaram a amadurecer como pessoa e profissional.

*“Ora, a fé é a certeza de coisas que se esperam, a convicção de fatos que não se veem.”  
(Hebreus 11:1)*

# **PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DA CARGA TÉRMICA COM UTILIZAÇÃO DE UMA SELF CONTAINED NA IGREJA DO EVANGELHO QUADRANGULAR DE VILA PERMANENTE – TUCURUÍ**

## **RESUMO**

*O crescente número de pessoas declaradamente evangélicas no país, levou a necessidade do surgimento de novos templos, que comportassem um público cada vez maior. Afim de atender a padrões de conforto térmico e bem-estar durante a realização dos cultos um trabalho de dimensionamento de carga térmica é proposto neste estudo. Este trabalho tem como objetivo dimensionar a carga térmica de uma Igreja Evangélica localizada na Vila Permanente no município de Tucuruí-PA, para a climatização de seu recinto através de um sistema de dutos com o uso de uma self contained. O local tem uma área de aproximadamente 440 m<sup>2</sup> com capacidade máxima em torno de 300 pessoas em um culto. Para o dimensionamento da carga térmica foram utilizadas as recomendações da norma ABNT NBR 16655-3 (2019) com o auxílio da NBR 15220 (2005), além das literaturas da área de climatização de ambientes sendo levado em consideração a carga térmica por transferência de calor por superfícies opacas, pela insolação, pessoas, iluminação e equipamentos elétricos, renovação e infiltração. O dimensionamento de dutos teve o auxílio da norma ABNT NBR 16401 (2008) utilizando o método da velocidade. O valor total de carga térmica encontrado foi 21,90 TR e através destes resultados selecionou-se uma self contained da empresa TRANE disponível no mercado que tem aproximadamente 25 TR, o qual satisfaz a demanda que é necessária para o templo e também possibilita a utilização de dutos de ar, assim, foi possível dimensionar a rede de dutos ideais para atender o local oferecendo para o lugar o conforto térmico adequado e proporcionando grandes períodos de permanência. Percebeu-se que as áreas das seções transversais dos dutos têm suas maiores dimensões nos ramais principais localizados no centro da igreja que apresentam suas ramificações secundárias nas laterais, o que torna suas estruturas bem distribuídas para atender a o público da forma mais eficiente possível.*

**Palavras-chave:** *Conforto térmico, Climatização, Carga térmica, Sistema de dutos, Self contained.*

# **THERMAL LOAD SIZING PROJECT USING A CONTAINED SELF IN THE QUADRANGULAR EVANGELHO CHURCH OF VILA PERMANENTE – TUCURUÍ**

## **ABSTRACT**

*The growing number of people declared to be evangelicals in the country, led to the need for the emergence of new temples, which could accommodate a growing audience. In order to meet the standards of thermal comfort and well-being during the cults, a thermal load dimensioning work is proposed in this study. This work aims to dimension the thermal load of an Evangelical Church located in Vila Permanente in the municipality of Tucuruí-PA, for the air conditioning of its enclosure through a duct system with the use of a self contained. The place has an area of approximately 440 m<sup>2</sup> with a maximum capacity of around 300 people in a cult. For the dimensioning of the thermal load, the recommendations of the ABNT NBR 16655-3 (2019) standard were used with the help of NBR 15220 (2005), in addition to the literature in the area of air conditioning, taking into account the thermal load by heat transfer by opaque surfaces, by insolation, people, lighting and electrical equipment, renovation and infiltration. The dimensioning of ducts was supported by the ABNT NBR 16401 (2008) standard using the velocity method. The total value of thermal load found was 21.90 TR and through these results we selected a self contained TRANE company available on the market that has approximately 25 TR, which satisfies the demand that is necessary for the temple and also allows the use of air ducts, thus, it was possible to dimension the ideal duct network to serve the place, offering the place adequate thermal comfort and providing long periods of permanence. It was noticed that the areas of the cross-sections of the ducts have their largest dimensions in the main branches located in the center of the church that have their secondary branches on the sides, which makes their structures well distributed to serve the public in the most efficient way possible.*

**Keywords:** *Thermal comfort, Air conditioning, Thermal load, Duct system, Self contained.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Fatores que afetam o conforto térmico no indivíduo .....	13
Figura 2. Fatores que influenciam na carga térmica.....	14
Figura 3. Transferência de calor por condução .....	15
Figura 4. Trocas de calor através de superfícies transparentes ou translúcidas .....	17
Figura 5. Comportamento do vidro simples à luz, ondas curtas e ondas longas .....	17
Figura 6. Comportamento das películas e vidros à luz, ondas curtas e ondas longas .....	18
Figura 7. Lâmpadas fluorescentes comuns.....	20
Figura 8. Lâmpada de led e seu interior .....	21
Figura 9. Infiltração de ar externo por janelas.....	22
Figura 10. Infiltração de ar na parte interna por frestas.....	23
Figura 11. Efeito chaminé realizado de forma natural .....	23
Figura 12. Efeito chaminé em ambiente condicionado fechado.....	24
Figura 13. Ambiente com auxílio mecânico para o efeito chaminé .....	25
Figura 14. Rede de dutos em um recinto .....	26
Figura 15. Rede de dutos com diversas ramificações.....	27
Figura 16. Dutos girovais e circulares .....	27
Figura 17. Tubulações de seção retangular galvanizado .....	28
Figura 18. Sistema de dutos com múltiplas ramificações e perdas de carga.....	29
Figura 19. Sistema de ventilação com insuflamento de ar .....	31
Figura 20. Unidade com condensador a ar remoto .....	32
Figura 21. Unidade com condensador a água.....	32
Figura 22. Self contained conduzindo ar para vários ambientes .....	33
Figura 23. Fachada da Igreja do Evangelho Quadrangular Vila Permanente .....	34
Figura 24. Interior do templo Igreja do Evangelho Quadrangular Vila Permanente .....	35
Figura 25. Equipamentos eletrônicos no recinto .....	35
Figura 26. Planta Baixa da Igreja do Evangelho Quadrangular - Vila Permanente .....	36
Figura 27. Localização do templo por satélite.....	37
Figura 28. Indicação dos pontos cardeais do templo.....	38
Figura 29. Portas de vidro do templo .....	42
Figura 30. Estruturas de apoio ao telhado em volta do templo .....	43
Figura 31. Equipamentos de som utilizados na Igreja.....	48
Figura 32. Espaço entre as estruturas .....	50

Figura 33. Imagem do espaço superior interior da IEQVP .....	52
Figura 34. Esquema da rede de dutos da IEQVP .....	53
Figura 35. Posição do duto retangular secundário em relação ao principal .....	60
Figura 36. Ramais secundários do final .....	62
Figura 37. Distribuição das cargas térmicas em BTU/h.....	67
Figura 38. Planta Baixa de climatização utilizando dutos na Igreja do Evangelho Quadrangular Vila Permanente .....	73
Figura 39. Self contained Diamond SIVE 250.....	75
Figura 40. Localização da casa de máquinas da self contained.....	77
Figura 41. Self contained instalada na casa de máquinas.....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Condições de temperatura e umidade do ar externo para o verão .....	39
Tabela 2. Condições de temperatura e umidade interna de referência para o verão .....	39
Tabela 3. Dados selecionados do local .....	40
Tabela 4. Valores de CLTD para diferentes cidades, corrigido para 16h .....	41
Tabela 5. Resistência térmica das paredes do templo .....	41
Tabela 6. Resistência térmica das portas de vidro do templo.....	42
Tabela 7. Paredes e seus valores de áreas.....	43
Tabela 8. Fator de ganho de SHGF de diferentes capitais.....	45
Tabela 9. Coeficientes de sombreamento (adimensional).....	45
Tabela 10. Fator de carga de resfriamento às 16h .....	46
Tabela 11. Informações dos equipamentos elétricos do local .....	47
Tabela 12. Infiltração de ar exterior .....	50
Tabela 13. Seções dos dutos e suas medidas .....	54
Tabela 14. Velocidades das seções dos dutos.....	55
Tabela 15. Vazões das seções.....	56
Tabela 16. Tabela com valores de perda localizada dos ramais .....	61
Tabela 17. Transferência de calor por superfícies opacas .....	63
Tabela 18. Carga térmica devido a insolação nas superfícies de vidro do templo .....	64
Tabela 19. Carga devido as pessoas no templo .....	64
Tabela 20. Carga térmica devido a iluminação .....	65
Tabela 21. Carga térmica devido aos equipamentos .....	65
Tabela 22. Carga devido a infiltração pelas frestas .....	66
Tabela 23. Resultado obtido da carga térmica total.....	67
Tabela 24. Informações para o dimensionamento dos dutos.....	69
Tabela 25. Perda de Cargas Unitárias das Seções .....	70
Tabela 26. Perda de carga total em cada um dos trechos .....	71
Tabela 27. Dimensões dos dutos .....	72
Tabela 28. Principais informações sobre a self contained escolhida.....	76

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ARI – American Refrigerator Institute (Instituto Americano de Frigoríficos)

ASHRAE –American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers  
(Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado)

BTU – British Thermal Unit (Unidade Térmica Britânica)

CLF –Cooling Load Factor (Fator de resfriamento)

CLTD – Cooling Load Temperature Differences (Diferença de Temperatura da Carga de Resfriamento)

HFC – Hidrofluorcarbono

IAQ – Indoor Air Quality (Qualidade do Ar Interno)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEI – International Energy Initiative (Iniciativa Internacional de Energia)

IEQVP – Igreja do Evangelho Quadrangular de Vila Permanente

LED – Light Emitting Diode

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

OC – Onda Curta

OL – Onda Longa

SC – Fator de Sombreamento

SHGF – Solar heating Gain Factor (Fator de Ganho de Calor por Insolação)

SMACNA – The Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association  
(Associação Nacional dos Empreiteiros de Chapas Metálicas e Ar Condicionado)

TR – Tonelada Refrigeração

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $A_b$  – Área da seção transversal do duto secundário ( $m^2$ )
- $A_c$  – Área de entrada da seção transversal do duto Principal ( $m^2$ )
- $A_s$  – Área de saída da seção transversal do duto principal ( $m^2$ )
- $A$  – Área da seção transversal ( $m^2$ )
- $A$  – Área da superfície ( $m^2$ )
- $A_v$  – Área dos vidros da janela, ( $m^2$ )
- $C_p$  – Calor específico do ar ( $kcal/kg \cdot ^\circ C$ )
- CLF – Fator de carga de resfriamento (adimensional)
- CLF – Fator de carga de resfriamento em função do horário (adimensional)
- CLTD – Diferença de temperatura ( $^\circ C$ )
- $D_h$  – Diâmetro hidráulico ( $m^2$ )
- $f$  – Fator de atrito (adimensional)
- $\varepsilon$  – Fator de rugosidade da tubulação (m)
- $h_{lv}$  – Calor de vaporização da água, ( $kcal/kg$ )
- $k_D$  – Perda de carga distribuída
- $k_L$  – Perda de carga localizada
- $L$  – Comprimento do tubo (m)
- $n$  – Número de pessoas no local
- $\Delta_p$  – Perda de carga total
- $\rho_{ar}$  – Densidade do ar ( $kg/m^3$ )
- $\Delta p$  – Perda de carga
- $\rho$  – Peso específico do ar ( $kg/m^3$ )
- $P_{equip}$  – Potência instalada do equipamento ( $W$ )
- $Q_{inf.L}$  – Calor latente infiltrado,  $kcal/h$
- $Q_{inf.s}$  – Calor sensível infiltrado,  $kcal/h$
- $Q$  – Vazão em ( $m^3/s$ )
- $Q_b$  – Vazão que sai do duto secundário ( $m^3/s$ )
- $Q_c$  – Vazão que entra no duto principal ( $m^3/s$ )
- $q_{equip}$  – Carga térmica total do equipamento ( $W$ )
- $Q_p$  – Calor total de uma pessoa ( $W$ )
- $Q_{pessoas}$  – Carga térmica total devido as pessoas ( $W$ )
- $q_{sins}$  – Carga térmica de insolação nas superfícies de vidro

$Q_{strans}$  – Carga térmica total através da parede (W)  
Re – Número de *Reynolds* (adimensional)  
R – Resistividade Térmica da superfície ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/W  
S – Área da seção transversal ( $m^2$ )  
SC – Fator de sombreamento (adimensional)  
SHGF – Fator de ganho de calor por insolação (W/ $m^2$ )  
 $T_e$  – Temperatura externa  $^\circ C$   
 $T_i$  – Temperatura Interna  $^\circ C$   
 $V_{inf}$  – Volume de ar infiltrado no ambiente  $m^3/h$   
V – Velocidade (m/s)  
V – Velocidade do escoamento (m/s)  
V – Velocidade no duto (m/s)  
 $\nu$  – Coeficiente de viscosidade (Pa.s)  
 $W_e$  – Umidade Absoluta externa  
 $W_i$  – Umidade Absoluta interna  
 $\Pi$  – 3,14

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 OBJETIVOS .....	12
<b>1.1.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>12</b>
<i>1.1.1.1 Objetivos Específicos.....</i>	<i>12</i>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
2.1 CONFORTO TÉRMICO.....	13
2.2 CARGA TÉRMICA .....	13
<b>2.2.1 Transmissão de calor através de superfícies opacas.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.2 Insolação.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.3 Indivíduos no recinto .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.4 Equipamentos de iluminação e elétricos.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.5 Renovação de ar do local e infiltração .....</b>	<b>21</b>
2.3 DISTRIBUIÇÃO DE AR ATRAVÉS DE DUTOS .....	25
<b>2.3.1 Funcionamento.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.2 Métodos para o dimensionamento de um sistema de dutos.....</b>	<b>28</b>
<i>2.3.2.1 Método da velocidade.....</i>	<i>28</i>
<i>2.3.2.2 Método da igual perda.....</i>	<i>29</i>
<i>2.3.2.3 Método da recuperação estática .....</i>	<i>30</i>
2.4 SELF CONTAINED.....	30
<b>2.4.1 Funcionamento.....</b>	<b>30</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>34</b>
3.1 LEVANTAMENTO DE CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS E OCUPACIONAIS DO TEMPLO.....	34
3.2 DETALHAMENTO DE CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS DO TEMPLO....	36
3.3 LOCALIZAÇÃO DO TEMPLO .....	36
3.4 CARGA TÉRMICA .....	38
<b>3.4.1 Carga térmica de transmissão por superfícies opacas .....</b>	<b>40</b>
<b>3.4.2 Carga térmica devido a insolação .....</b>	<b>44</b>
<b>3.4.3 Carga térmica devido às pessoas .....</b>	<b>46</b>
<b>3.4.4 Carga térmica por iluminação e equipamentos .....</b>	<b>47</b>
<b>3.4.5 Carga térmica por renovação e infiltração .....</b>	<b>48</b>
<b>3.4.6 Carga térmica total.....</b>	<b>51</b>

3.5 DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DUTOS .....	51
<b>3.5.1 Método da velocidade .....</b>	<b>52</b>
3.5.1.1 Rede e dimensão dos dutos .....	53
3.5.1.2 Velocidade e vazão de ar nos dutos.....	55
3.5.1.3 Área da seção do duto .....	56
3.5.1.4 Diâmetro dos dutos.....	57
3.5.1.5 Número de Reynolds.....	57
3.5.1.6 Equação de colebrook-white .....	58
3.5.1.7 Equação de darcy-weisbach.....	59
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>63</b>
4.1 CARGA TÉRMICA .....	63
<b>4.1.1 Carga térmica de transmissão por superfícies opacas .....</b>	<b>63</b>
<b>4.1.2 Carga térmica devido a insolação .....</b>	<b>63</b>
<b>4.1.3 Carga térmica devido às pessoas .....</b>	<b>64</b>
<b>4.1.4 Carga térmica por iluminação e equipamentos .....</b>	<b>65</b>
<b>4.1.5 Carga térmica por renovação e infiltração .....</b>	<b>66</b>
<b>4.1.6 Carga térmica total.....</b>	<b>66</b>
4.2 DUTOS DIMENSIONADOS PARA O TEMPLO .....	68
<b>4.2.1 Características iniciais da rede dutos .....</b>	<b>68</b>
<b>4.2.2 Perda de carga.....</b>	<b>69</b>
<b>4.2.3 Dimensões finais da rede de dutos.....</b>	<b>71</b>
4.3 EQUIPAMENTO SELECIONADO .....	73
<b>4.3.1 Self contained .....</b>	<b>74</b>
<b>4.3.2 Localização e considerações feitas para a self contained .....</b>	<b>77</b>
<b>4.3.3 Levantamento de custos .....</b>	<b>79</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>80</b>
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	81
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>82</b>
APÊNDICE A - Planta Baixa completa do local em 2D.....	86
ANEXO A - Tabela Calor cedido ao ambiente (W), segundo a atividade desenvolvida pelo indivíduo.....	87
ANEXO B - Velocidades recomendadas e máximas para dutos de ar e equipamentos de sistemas de baixa pressão.....	88

ANEXO C - Tabela. relação entre o diâmetro hidráulico circular e a seção retangular correspondente.....	89
---	----

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), a população brasileira de denominação evangélica deve ultrapassar pela primeira vez o número de católicos no país até o ano de 2032. Por ano seu crescimento é registrado na média de 0,8% desde o ano de 2010 até hoje, assim, mantendo este ritmo deve se tornar maior do que outros segmentos religiosos dentro do país.

Levando em consideração este cenário de crescimento de novas edificações de igrejas evangélicas para comportar um grande número de fiéis, a cada dia mais se exige que sejam construídos com grandes dimensões oferecendo assim o mínimo de bem-estar em seu interior. A sua arquitetura apresenta características que seriam encontradas em teatros, auditórios tudo por comportar um grande número de pessoas.

O conforto térmico nada mais é que uma condição mental do indivíduo a qual expressa a satisfação com o ambiente em que está inserido. Segundo Costa (2021) os fatores os quais causam a interferência no conforto térmico são as variáveis humanas (atividades desenvolvidas, roupas) e de relação com o ambiente que está inserido.

O conforto térmico em um local está sempre ligado ao uso de aparelhos condicionadores de ar muitas vezes instalados em países de clima tropical como o Brasil. Para que eles sejam utilizados adequadamente é importante que sejam feitos estudos no local para que seja possível se ter o conhecimento das variáveis do lugar (arquitetura, equipamentos no local, entre outros), dessa forma proporcionando as pessoas muitas horas de permanência em locais fechados sem a necessidade de saída para partes externas.

A climatização é algo primordial para o funcionamento de ambientes comerciais e industriais que envolvem um grande número de circulação de pessoas. Ela pode acontecer tanto para os processos industriais e seus meios quanto para alcance do bem estar de pessoas em ambientes com grandes dimensões. As máquinas que são geralmente selecionadas para grandes locais possuem inúmeras formas de serem escolhidas que variam conforme a necessidade a ser solucionada.

O presente estudo tem por objetivo realizar o cálculo da carga térmica de uma igreja do evangélica na vila permanente, localizada no município de Tucuruí-Pará. Além disso, deve ser dimensionado dutos de ar e selecionar uma *self contained* capaz de atender as necessidades de conforto térmico dos indivíduos presentes da maneira mais eficaz possível, pois este equipamento possui médio porte e grande capacidade de refrigeração em relação outros. Neste trabalho foi utilizado para o cálculo da carga térmica a NBR 16655-3 (2019) e para o

dimensionamento de dutos a NBR 16401-1 (2008) que recomendam diretrizes para que o sistema seja feito da forma mais padronizada possível.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Dimensionar a carga térmica de uma igreja do evangelica para sua climatização através de um sistema de dutos com o uso de uma *self contained*.

#### 1.1.1.1 *Objetivos Específicos*

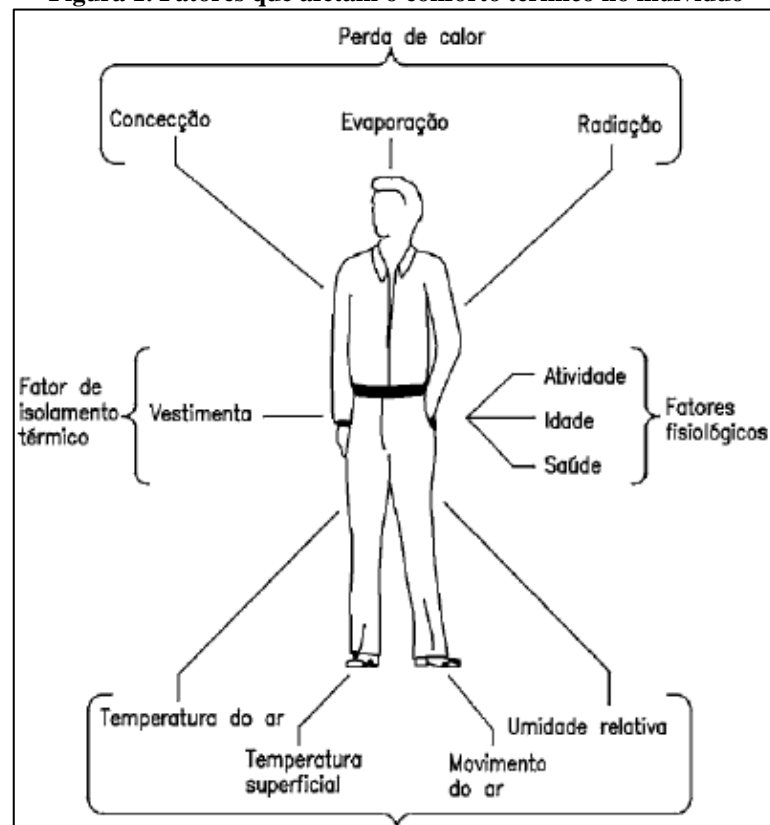
- Utilizar a ABNT NBR 16655-3 (2019) para realizar os cálculos de carga térmica;
- Realizar o dimensionamento de dutos para o local seguindo as recomendações da ABNT 16401-1 (2008);
- Fazer a seleção da *self contained* com as especificações necessárias para o projeto.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONFORTO TÉRMICO

Segundo Machado (2017), a definição de conforto térmico é baseada na satisfação de um indivíduo com o local em que está. Esta sensação é subjetiva, variando de acordo com a pessoa, dessa forma um ambiente que pode ser confortável termicamente e desconfortável para outra. Ainda para Machado (2017), um indivíduo satisfeito termicamente apresenta uma melhor performance em suas atividades, além disso, existem fatores que influenciam neste conforto que são os humanos (fisiológicos e vestimentas) juntamente com variáveis ambientais presentes no local. As variáveis estão presentes como mostra a Figura 1.

**Figura 1. Fatores que afetam o conforto térmico no indivíduo**



Fonte: Adaptado Machado (2017).

Os fatores apresentados são muito relativos e variam de pessoa para pessoa, seus hábitos de atividade, suas roupas e questões fisiológicas que envolvem idade e saúde são também levados em consideração.

### 2.2 CARGA TÉRMICA

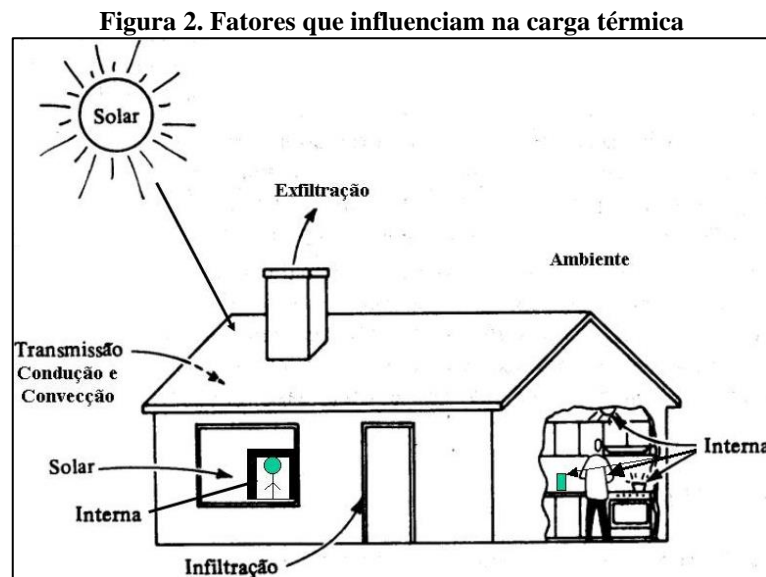
A definição de carga térmica nada mais é que a parcela de calor latente e sensível que deve ser retirada ou adicionada em um ambiente escolhido com a finalidade de criar ou manter

um conforto térmico desejado no recinto que traga a constância em escolhidas condições térmicas (MENEZES, 2005).

A parcela de calor sensível que é fornecida ou retirada pode gerar apenas variações de temperatura sem a mudança de estado físico da matéria. Já o calor latente é definido quando o mesmo pode variar o seu estado, ocorrendo uma mudança física.

Para se obter a estimativa da carga térmica de um recinto é necessário que sejam levados alguns fatores em consideração. A NBR 16655-3 (2019) disponibiliza a metodologia necessária para a contabilização da carga térmica para o uso de centrais de ar para ambientes residenciais, esta normatização pode ser utilizada para outros locais desde que sejam as características do local adaptadas para suas premissas vigentes. Nesta norma são levados em consideração diversos fatores como: localização e altitude, clima, horário, umidade temperaturas de ar externo e interno, índices de ocupação humana no recinto, atividades realizadas no local, insolação em superfícies opacas e transparentes que constituem a arquitetura e até mesmo infiltrações de ar externo entre outros aspectos que tenham impacto na região selecionada.

A Figura 2 mostra de forma simples algumas das principais parcelas consideradas para se estimar a carga térmica total de um local como insolação, infiltração de ar externo e variáveis dentro do recinto.



É de grande importância que essas parcelas estejam bem definidas e normatizadas pois criam um nível alto de confiança com detalhamento sobre o local, tornando a sua execução a mais correta possível.

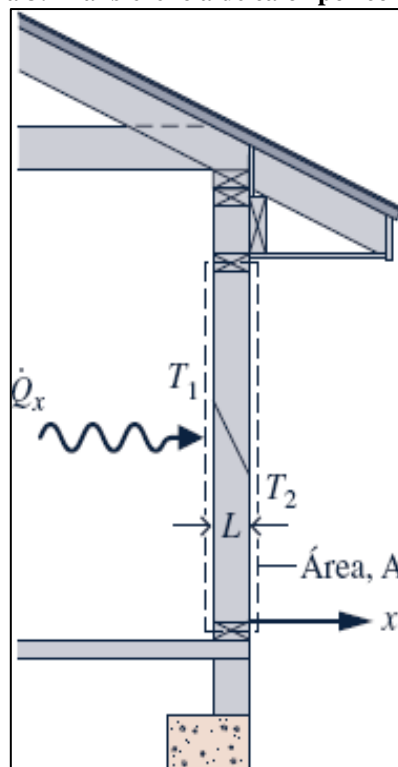
### 2.2.1 Transmissão de calor através de superfícies opacas

A transmissão através de superfícies opacas tem sua maior parcela realizada por meio da condução que segundo MORAN *et al.* (2018), é feita com o princípio da transferência de energia ocorre da parte mais energética para a parcela de menor energia, ocorrendo com o contato de uma com a outra. A maneira como o calor é transferido através do material opaco é explicada pela lei de Fourier.

Uma propriedade térmica muito importante no estudo da transferência de calor através de superfícies opacas é a condutibilidade térmica do material. De acordo com a NBR 15220-1 (2005) a condutibilidade térmica do material é a capacidade que um elemento construtivo possui de conduzir calor através de sua estrutura quando ele é submetido a alguma diferença de temperatura.

Outra propriedade térmica importante é a resistividade térmica ou resistência térmica do material que de acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014) é a característica que o material possui de resistir ao calor tendo relação direta com sua espessura. Dessa maneira, quanto maior for a espessura do material maior será seu valor de resistir a passagem de calor e vice-versa. A Figura 3 exemplifica como acontece a condução por meio de um elemento.

Figura 3. Transferência de calor por condução



Fonte: Adaptado MORAN *et al.* (2018).

Na Figura 3, é possível ver como  $T_1$  e  $T_2$  que respectivamente é a temperatura externa e interna que atravessam o material, responsáveis pela estimativa de resistência térmica. O termo  $L$  é a espessura na qual o calor atravessa juntamente com a condutividade térmica do constituinte em questão.

Na norma NBR 16655-3 (2019) obtém-se diversos valores de resistências térmicas de materiais que são usualmente empregados nas arquiteturas conhecidas no país. Além dela existem normatizações criadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como a NBR 15220 (2005) que disponibiliza em seu conteúdo outros elementos construtivos e com valores tabelados para chegar aos mais variados números de materiais e suas respectivas resistividades térmicas.

O tipo de processo empregado na NBR16655 (2019) para o cálculo da carga térmica adquirida por superfícies opacas é o princípio *Cooling Load Temperature Differences* (CLTD). Ele é a disparidade de temperatura utilizada na estimativa de calor que atravessa pela dimensão do elemento construtivo opaco que demonstra a importância da transmissão de calor, efeito do sol diferença de temperatura (bulbo seco interno e externo), resistência térmica entre outros.

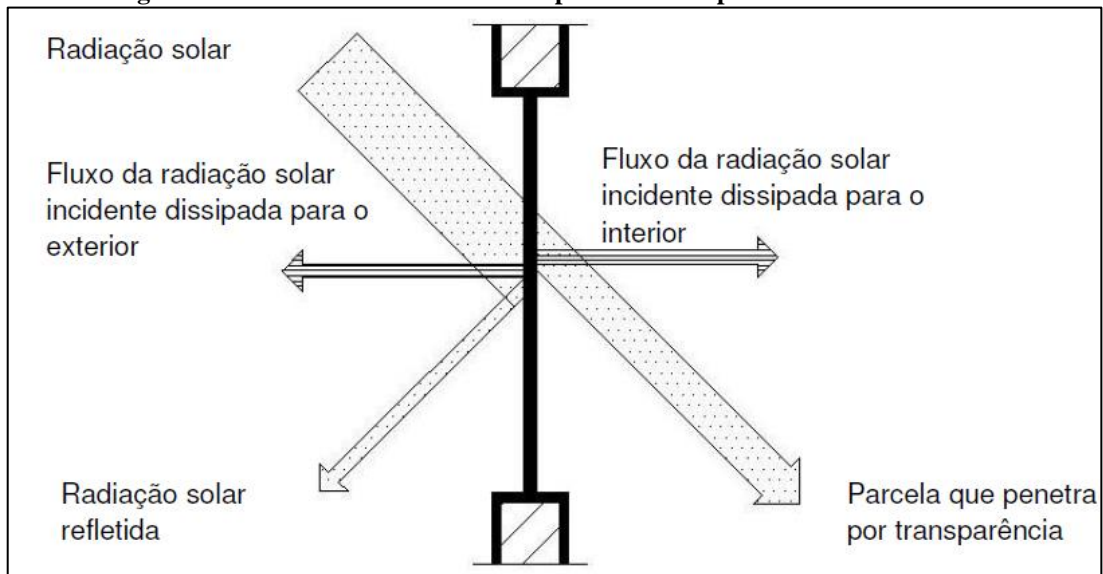
### 2.2.2 Insolação

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) explicam que a radiação solar é parte primordial dos ganhos de calor em ambientes, comportando-se de diferentes formas e atuando de maneira direta nas relações de conforto térmico do recinto. As parcelas de ganho de calor por insolação em construções são na maioria das vezes em superfícies de materiais transparentes como, claraboias, janelas, portas ou qualquer material que possua em suas estruturas materiais translúcidos (CREDER, 2004).

As superfícies de vidro realizam a troca de calor quando os raios solares incidem nelas esta insolação é transmitida através da estrutura transparente sendo basicamente os três modos responsáveis pelas transferências que são: radiação, convecção e condução. A parcela referente a radiação acaba tornando-se a principal forma de calor pois o material acaba permitindo a maior passagem pela sua permissibilidade características de vidro.

A Figura 4 mostra como os raios provenientes do sol atuam por meio da radiação em sua superfície e seus comportamentos após se chocarem com o elemento construtivo transparente.

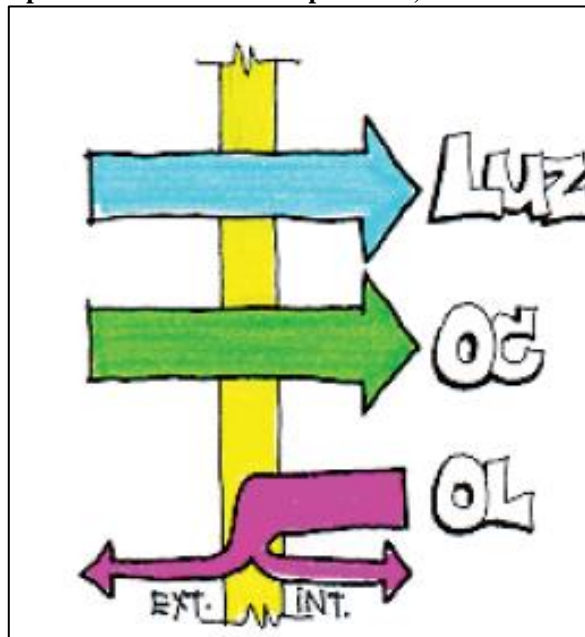
**Figura 4. Trocas de calor através de superfícies transparentes ou translúcidas**



Fonte: Adaptado Frota e Schiffer (2001).

A transferência de calor externo e interno são realizadas de forma acelerada e enérgica quando são feitos por meios de elementos translúcidos. O tipo de vidro possui uma grande influência sobre os valores encontrados pois os vidros de material simples facilitam a penetração quando o sol reflete no local sendo levada em consideração a sua alta transmissividade (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). A Figura 5 ilustra como um vidro considerado “simples” comporta-se com a irradiação solar.

**Figura 5. Comportamento do vidro simples à luz, ondas curtas e ondas longas**



Fonte: Adaptado de Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

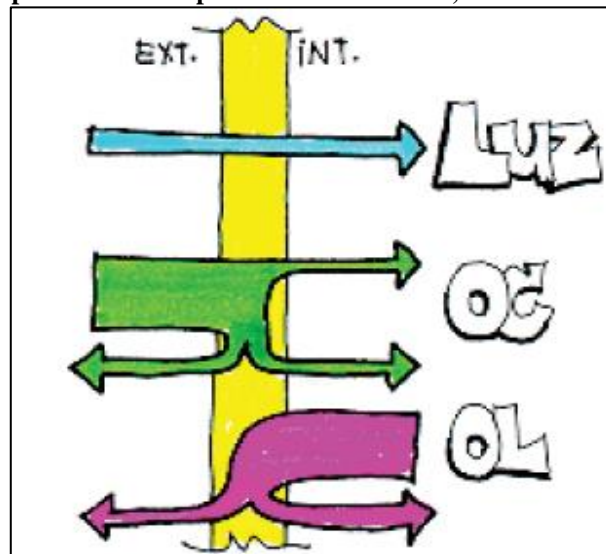
Os vidros simples são de uso popular no Brasil devido a seu baixo custo e grande oferta. De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014) a luz que incide sobre sua superfície tem

grande absorção sendo bastante empregado em locais onde se deseja obter uma boa iluminação natural, as ondas curtas (OC) é responsável por uma grande parcela que é transmitida para dentro.

As ondas longas (OL) também possuem altos índices de absorvidade e geram o conhecido efeito estufa que ocorre através do calor que passa do exterior para o interior e encontra obstáculos para sair pelo vidro, dessa maneira ficando confinado na parte de dentro do recinto.

O uso de vidros com películas tem por objetivo principal a redução da transmissão de ondas curtas, entretanto essa prática é feita com o aumento da absorção nesse nível de comprimento de onda, o que acaba diminuindo a visibilidade, sendo uma atividade que diminui a entrada de luz sendo necessário a instalação de uma iluminação dentro do local. Assim como o vidro simples tem alta taxa de absorção de radiação solar de onda longa e com baixo índice reflexivo para OC e OL, como mostra a Figura 6.

**Figura 6. Comportamento das películas e vidros à luz, ondas curtas e ondas longas**



Fonte: Adaptado de Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

O cálculo para se estimar a carga térmica por insolação em superfícies de vidro é encontrado na normatização da NBR 16655-3 (2019), a qual recomenda alguns fatores característicos. O primeiro é o *Shade cooling load factors* (SC) que é o fator de sombreamento que nada mais são que valores de correção para a radiação solar que está relacionado com as especificidades do vidro que envolvem sua forma construtiva e seu comportamento.

A parcela *Solar heating gain factor* (SHGF) ou fator de ganho por insolação são números tabelados referentes a potência de insolação que considera os valores máximos de radiação do sol com latitudes e períodos do ano que são emitidos em superfícies translúcidas, (ABNT, 2019).

O último aspecto que se deve levar em consideração para os vidros é o *Cooling Load Factor* (CLF) que é uma espécie de carga de resfriamento que usualmente equivale a valores disponíveis na norma que tem um efeito de atraso da incidência de calor em suas superfícies.

### 2.2.3 Indivíduos no recinto

Para Creder (2004), todo o ser humano emite calor sensível e calor latente que estão suscetíveis a variações de um indivíduo para o outro juntamente com trabalho ou repouso desempenhados no local. Ainda de acordo com Creder (2004) a pessoa que está sendo submetida a uma atividade física intensa pode liberar de seu corpo até cinco vezes mais calor do que uma em descanso, e relata que:

Considerando-se que a temperatura média normal de uma pessoa é de 37°C (98,6°F), verifica-se experimentalmente que quanto maior é a temperatura externa, maior é a quantidade de calor latente emitida, e quanto menor esta temperatura, maior é o calor sensível. Isso pode ser explicado do seguinte modo: O organismo humano possui um mecanismo termostático que, atuando sobre o metabolismo, mantém a temperatura do corpo aproximadamente constante, embora variem as condições externas. Se a temperatura exterior é superior a 37°C (98,6°F), o calor é transferido do exterior para o corpo, e isso provoca a transpiração e em consequência a eliminação de vapor d'água pela respiração, adicionando apenas calor latente ao ar. Se a temperatura exterior é inferior a 15,6°C (60°F), a transferência de calor se dá do corpo para o ambiente, porém somente na forma de calor sensível. Entre essas temperaturas externas, ou seja, entre 15,6°C e 37°C, o corpo humano emite calor sensível e calor latente ao ambiente, mantendo constante o calor total (CREDER, 2004).

Um fator que vale ressaltar é a vestimenta dos indivíduos que estão presentes no local e que podem variar conforme o lugar, evento etc. Conforme Frota e Schiffer (2001) afirma em sua literatura a vestimenta mantém uma camada mínima de ar estacionário que dificulta as trocas por convecção e radiação, ela funciona como um isolante térmico que é preso ao corpo que acaba deixando retido essa mínima parcela de ar aquecido. Além disso, sua resistência térmica varia do tipo de tecido, fibra, tamanho e ajuste no corpo.

Tendo o conhecimento do funcionamento das trocas de calor e como ocorrem com o ser humano, pode-se estimar valores de quanto uma pessoa normal pode ceder calor ao ambiente. A norma NBR 16655-3 (2019) utiliza métodos para ser encontrada a parcela de calor latente e sensível emitidas por um indivíduo juntamente como *Cooling Load Factor* (CLF) que é usado como um fator de resfriamento aplicado para pessoas. A norma em questão disponibiliza valores médios de determinadas ações que geram calor ao ambiente, outras literaturas podem oferecer um número mais diversificado de atividades como: dançar, andar, sentar, dormir entre outras.

Além disso, a NBR 16401 (2008) recomenda que se deve sempre considerar o número máximo de pessoas suportadas em cada recinto ou área única, sendo que na ausência dessa informação é necessário ser realizada a estimativa da densidade de ocupação que está presente na norma. A capacidade total de comportar indivíduos em um recinto dependendo de suas atividades pode gerar grande desconforto por quem está presente causando malefícios a saúde por quem sofre de problemas de saúde.

#### **2.2.4 Equipamentos de iluminação e elétricos**

Segundo Almeida (2019), um conjunto de iluminação é a ordem de circuitos elétricos que são formados por lâmpada, reator, luminária para o ambiente que está sendo iluminado artificialmente. O principal intuito da utilização de lâmpadas é trazer boa capacidade de visibilidade dentro do recinto, melhorar a ambientação e atuar como ferramenta fundamental para que se consiga realizar trabalhos e afazeres (ALMEIDA, 2019).

A iluminação em seu funcionamento contribui com uma parcela de calor para o local e dependendo da sua potência, forma e quantidade pode gerar valores relativamente altos para a carga térmica (GOMES, 2019), além disso quando é realizada a contabilização de quanto é seu ganho em calor para lâmpadas fluorescentes, cerca de 20% é somado a esse ganho total em virtude do reator.

O *international Energy Initiative* (IEI Brasil, 2019) afirma que as lâmpadas fluorescentes foram consideradas uma evolução em relação as incandescentes por consumirem menos energia, totalizando um valor de 75% menos. Elas podem ser popularmente vendidas em formas circulares, compacta e tubular como mostra a Figura 7.

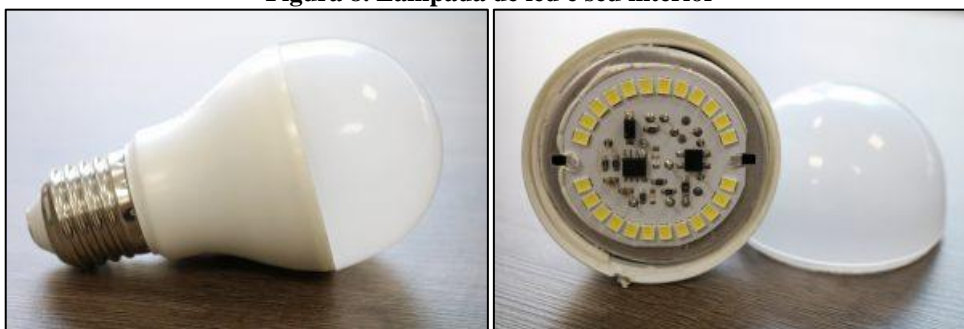
**Figura 7. Lâmpadas fluorescentes comuns**



Fonte: IEI Brasil (2019).

Nos dias de hoje as lâmpadas que são campeãs em custo benefício são as *Light Emitting Diode* (LED), que possuem uma grande variedade de potências, formatos chegando até mesmo a cordões e fitas (IEI BRASIL, 2019). Os seus principais benefícios são a sua grande eficiência energética que pelo seu mecanismo de funcionamento aproveita melhor a eletricidade por ela consumida diminuindo a produção de calor propagado para o ambiente (Figura 8).

**Figura 8. Lâmpada de led e seu interior**



Fonte: IEI Brasil (2019).

Os meios para se encontrar os valores de carga térmica provenientes da iluminação de um local estão presentes na norma NBR 16655-3 (2019) que leva em consideração a potência que é fornecida pelo fabricante das lâmpadas que estão instaladas no lugar juntamente com o fator de carga *Cooling Load Factor* semelhante ao já mencionado, mas agora aplicado a parte luminosa. A norma ainda considera que o CLF é diretamente ligado ao uso, sendo descrito como um fator de carga de resfriamento que é associada a quantas horas de uso contínuo o equipamento está iluminando o local.

A parcela de calor gerada por aparelhos elétricos presentes em residências, escolas, locais comerciais e teatros entre outros são contabilizados no método para a estimativa da carga térmica e que podem alcançar altos valores tendo um impacto significativo nos resultados (GOMES, 2019). A norma NBR 16401-1 (2008) conceitua a dissipação de calor que ocorre através de aparelhos que possam ser encontrados em um escritório como sendo fundamental o levantamento de sua quantidade exata e consulta a potência informada pelo fabricante.

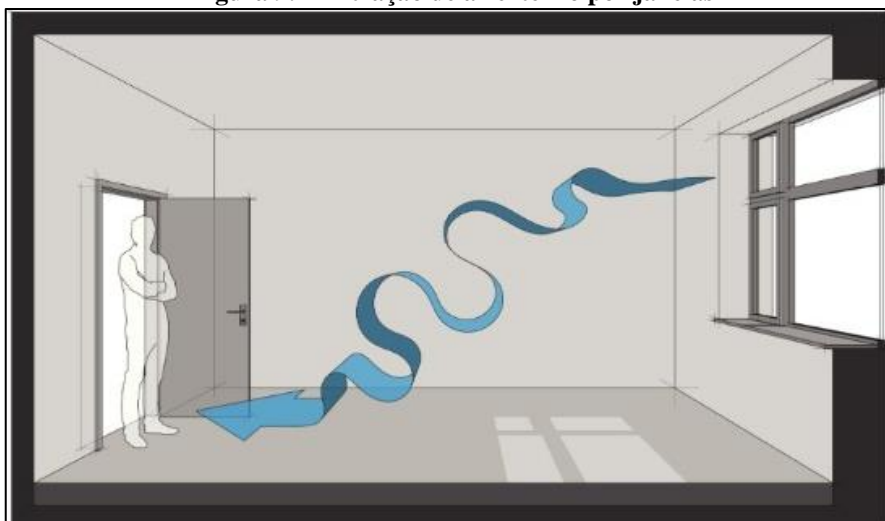
A partir dos equipamentos e suas características elétricas disponibilizadas pode-se incluir novamente a parcela CLF ligada ao seu uso assim como nas lâmpadas dessa forma deixando os cálculos precisos e os mais confiáveis possíveis (GOMES, 2019).

### **2.2.5 Renovação de ar do local e infiltração**

Em estruturas de edificações comuns, sempre estão presentes vazamentos de ar com fluxos para dentro ou fora os quais, são encontrados por meio de janelas, portas e aberturas de espessura pequenas na estrutura (GOMES, 2019). Estas fugas de ar por estes espaços são

denominadas como infiltração (penetração), na Figura 9 exemplifica o vento externo com o fluxo para o lado de dentro de um recinto.

**Figura 9. Infiltração de ar externo por janelas**



Fonte: Adaptado de Arquitetura e cotidiano (2015).

De acordo com Creder (2004) esta penetração tem como efeito a adição de carga térmica por duas parcelas que são as de calor latente e calor sensível, as quais não podem ser contabilizadas com exatidão, porém estimadas. Segundo o autor existem dois métodos que podem ser realizadas estas estimativas dessas infiltrações que são o método da troca de ar e o método das frestas.

O método da troca de ar é relativamente simples ele ocorre através de uma troca de ar realizada por hora no recinto selecionado levando em consideração a quantidade de janelas existentes juntamente com a área (CREDER, 2004). Este fluxo de ar implica na renovação de ar contido no local resultando em calor externo indo em direção para o lado de dentro.

Outra forma de ser calculada a infiltração é o método das frestas que comparado ao anterior é um pouco mais detalhado, ele acontece em virtude por lacunas deixadas em janelas e portas mal ajustadas que pelo movimento de ar externo entra no recinto adicionando a parte interna calor latente e sensível elevando a temperatura do lugar. Este método realiza as medições de comprimento e largura de possíveis espaços que podem estar realizando esta infiltração de ar (SOUZA, 2013).

A Figura 10, mostra um conjunto de portas, janelas e fissuras que através de suas frestas infiltram ar externo no ambiente interno.

**Figura 10. Infiltração de ar na parte interna por frestas**

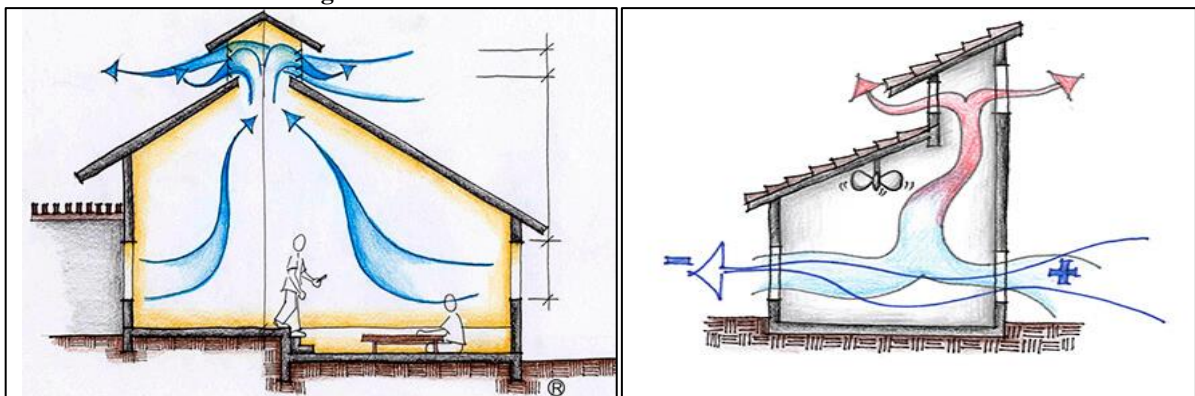


Fonte: Adaptado *Ecopore Advance and Solutions* (2022).

Segundo a norma NBR 16401-1 (2008) essa penetração acontece devido ao ar exterior que é ocasionada pelos ventos e diferença de pressão em virtude do efeito chaminé que quando não controlado gera uma taxa adicional de ar exterior resultando mais carga térmica para o sistema. A norma ainda recomenda que usualmente ambientes que já possuem um condicionamento de ar devem-se manter levemente pressurizados como tentativa de conter infiltrações.

O efeito chaminé tem seu princípio considerado nas diferenças de pressões originadas das diferenças de temperaturas do ar interno e externo de uma edificação (FROTA; SCHIFFER, 2001). O autor ainda explica que o ar mais quente se torna menos denso dentro do local e acaba resultando em sua ascensão e com aberturas nas partes superiores acaba sendo “expulso” do ambiente como mostra a Figura 11 abaixo que ocorre de forma natural através de passagens superiores.

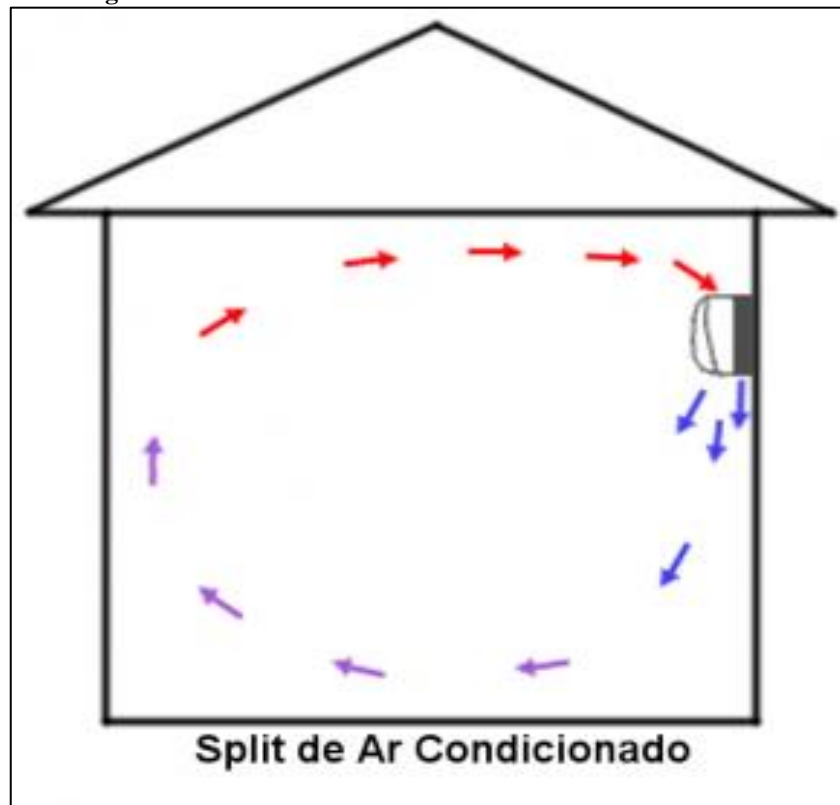
**Figura 11. Efeito chaminé realizado de forma natural**



Fonte: Adaptado do *Projetee e CA-2* (2022).

Este seguimento pode ser realizado de maneira natural quando as aberturas na parte inferior e superior do recinto existam para que o fluxo de ar e diferença de pressões aconteça e o método seja executado. Este conceito de efeito chaminé está presente em ambientes que possuem condicionadores de ar frio, o ar mais denso permanece na parte de baixo do recinto e o ar quente sofre uma elevação ficando retido na parte superior como mostra a Figura 12.

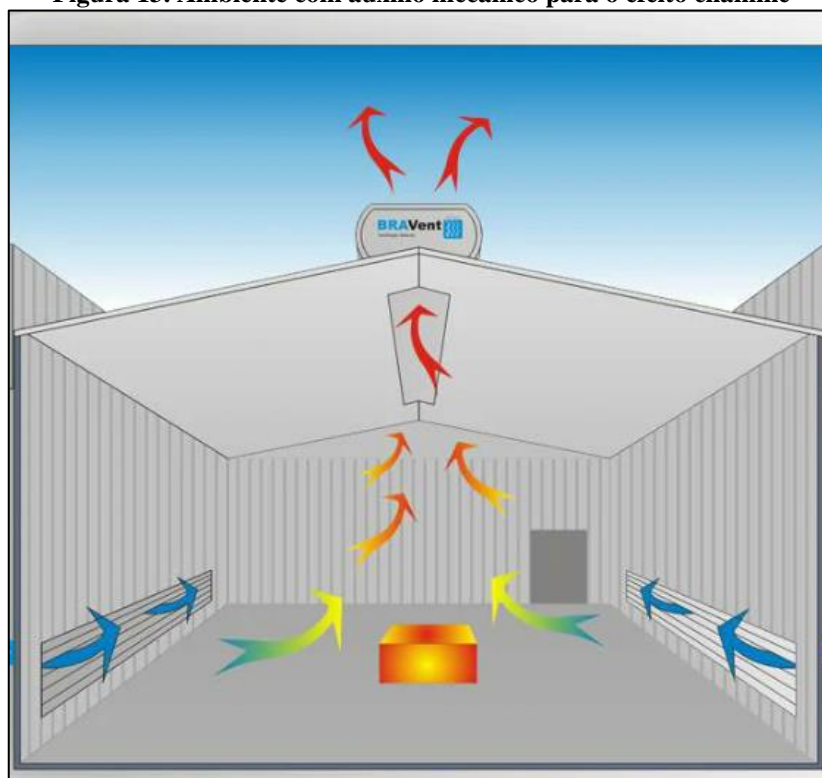
**Figura 12. Efeito chaminé em ambiente condicionado fechado**



Fonte: Adaptado Laborsegur (2022).

Algumas situações exigem que em um recinto seja devidamente modelado com o intuito de acontecer a troca contínua de ar para que dessa forma o local ganhe um dimensionamento adequado na retirada de ar do local para ser promovido o controle mecânico do efeito chaminé Figura 13.

**Figura 13. Ambiente com auxílio mecânico para o efeito chaminé**



Fonte: BRAvent (2022).

Segundo Policarpio (2013) a reciclagem de ar em ambientes internos é de grande importância para eliminação do excesso de CO<sub>2</sub> ou outros gases que representem danos à saúde dos indivíduos inseridos no local, mesmo que a retirada dessa parcela represente o aumento excessivo da carga térmica.

Em locais fechados onde não ocorre a devida renovação de ar podem-se aumentar o risco de contrair doenças respiratórias, dependendo do número de indivíduos a grande quantidade de gás carbônico pode ocasionar sonolência e dor de cabeça. Em períodos de verão as altas temperaturas podem complicar ainda mais a situação desses locais com parcelas de ar quente parado que podem até mesmo causar mal cheiro.

### 2.3 DISTRIBUIÇÃO DE AR ATRAVÉS DE DUTOS

A distribuição de ar para vários ambientes que podem ser condicionados pode ser feita por meio de tubulações, costumeiramente com materiais metálicos e chamados comumente de sistema de dutos ou rede de dutos (MATOS, 2010). O autor ainda reforça que a finalidade do sistema de dutos é levar o ar do ventilador de um equipamento até a localização a qual será condicionada.

De acordo com Menezes (2005) o sistema de dutos que distribui ar em um arranjo de ventilação ou ar condicionado consiste em trechos retos, cotovelos, ramificações de entrada e

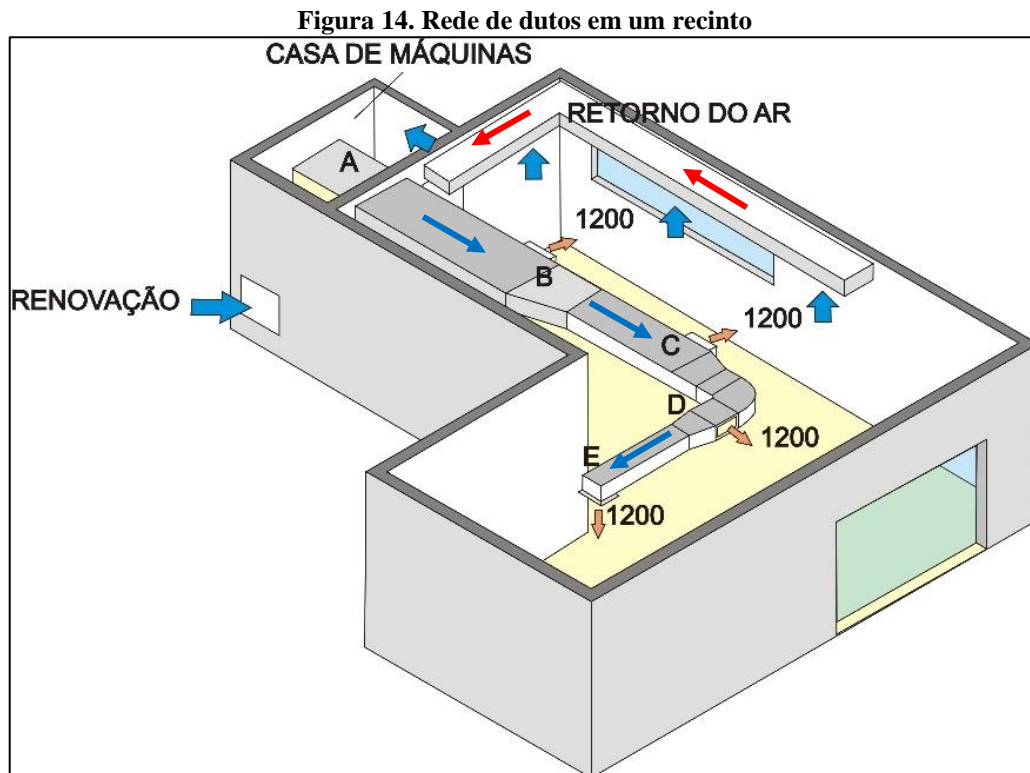
saída, registros juntamente com difusores e bocas de insulflamento. Creder (2004) classifica os dutos somente como meios de circulação de ar da máquina até a descarga dele que são localizadas nas bocas de insulflamento (grelhas).

Segundo Alvarez (2019) este sistema deve obedecer a alguns preceitos como: conduzir de maneira eficaz o ar até o local definido, ser economicamente viável as instalações quanto a operação com o mínimo de poluição sonora, sempre levando as considerações que devem ser levantadas em um projeto com o objetivo de executa-o de maneira correta podendo muitas das vezes alterar o projeto inicial.

### 2.3.1 Funcionamento

O modo de funcionamento de um sistema de dutos tem início na unidade de refrigeração centralizado em algum local próximo ao recinto que se deseja atender, a máquina contém um ou mais ventiladores que força o ar refrigerado a adentrar nos condutos principais.

Os fluidos refrigerados chegam com pressões criadas pelo equipamento selecionado para as saídas de ar que são devidamente distribuídas conforme a necessidade do local (uma ou mais zonas) esse ar frio acaba por “empurrar” o ar quente dos recintos para dutos que tenham finalidade a saída de ar ou aberturas no local. A Figura 14 fica evidente o fluxo de saída da máquina em um sistema comum com duto de retorno e saídas.



Fonte: Adaptado de Silva (2022).

Em determinados sistemas de dutos é necessário um aprofundamento maior por parte do esquema selecionado seja por conta do local a ser condicionado o ar (que podem ser várias áreas simultaneamente) ou exijam um controle maior do ambiente a ser resfriado. Na Figura 15 mostra um arranjo mais complexo de dutos e provavelmente.

**Figura 15. Rede de dutos com diversas ramificações**



Fonte: adaptado Powermatic (2022).

Segundo Rosa (2018) os dutos podem ser produzidos em diversos tipos de materiais, porém a utilização mais comum no mercado é o aço galvanizado pois tem ótima performance e custo benefício além de proporcionar boas propriedades em sua constituição. Existem basicamente três tipos de tubulações mais utilizadas, que são definidas pelo seu formato, sendo girovais e circulares e as mais empregadas que são as retangulares. Na Figura 16 está exemplificado os dutos girovais e circulares.

**Figura 16. Dutos girovais e circulares**



Fonte: Espirodutos e Powermatic (2022).

Na Figura 17 está apresentada uma instalação típica de duto de aço galvanizado e de seção retangular, que é comumente utilizado.

**Figura 17. Tubulações de seção retangular galvanizado**



Fonte: Powermatic (2022).

### **2.3.2 Métodos para o dimensionamento de um sistema de dutos**

Menezes (2005) afirma que diante a um projeto de dimensionamento de uma rede de dutos de ar, sempre será utilizado um processo sofisticado no qual, tenha como objetivo encontrar dimensões de acordo com os critérios previamente escolhidos no começo. De acordo com Creder (2004) existem basicamente três métodos para a elaboração de um sistema de dutos que são o método da velocidade, igual perda de carga e recuperação estática.

#### *2.3.2.1 Método da velocidade*

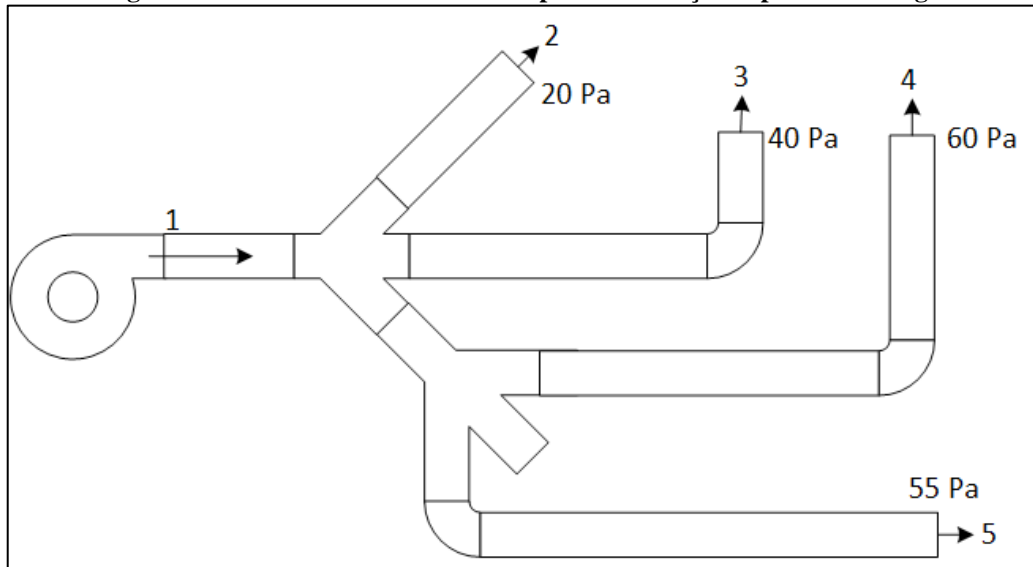
Esta forma de cálculo tem em sua premissa que as velocidades do ar das tubulações principais e seus ramais secundários devem ser pré-selecionadas para a determinação da perda de carga em seu sistema, tornando-se prudente escolher um tipo de ventilador para satisfazer as perdas de carga máxima (ALVAREZ, 2019). O autor ainda destaca que não existem velocidades com valores padrão pois será dependente das limitações do local e fatores econômicos. Vale ressaltar que algumas normatizações brasileiras como ABNT disponibilizam valores recomendados para alguns locais e seções características.

De acordo com Alvarez (2019) as altas velocidades em um sistema ocasionam o aumento das perdas de carga e dessa maneira acaba influenciando no custo da máquina selecionada juntamente com aumento de ruídos. Além disso, velocidades consideradas altas são

geralmente recomendadas para locais, nos quais se tenha um grande fluxo de pessoas, como auditórios, teatros e que de alguma forma sejam corrigidos problemas acústicos também estão incluídas áreas industriais onde tem-se a necessidade pelo lugar ter grandes dimensões.

Em edificações residenciais, as velocidades são relativamente baixas em relação a locais industriais. Um sistema de dutos em que foi utilizado o método é mostrado na Figura 18.

**Figura 18. Sistema de dutos com múltiplas ramificações e perdas de carga**



Fonte: Alvarez (2019).

A Figura 18 demonstrada anteriormente exemplifica uma rede de dutos que conhecidas as cargas térmicas de resfriamento juntamente com a vazão de ar também as velocidades nas saídas podem-se adotar o método da velocidade para o dimensionamento das perdas de carga, as quais, serão encontradas em cada trecho (ALVAREZ, 2019).

### 2.3.2.2 Método da igual perda

Segundo Alvarez (2019) este outro método consiste em um modo de escolher uma perda de carga geral para o sistema para que em sequência sejam elaborados todos os dutos do projeto observando-se os seguintes passos:

- Selecionar uma perda de carga disponível;
- Determinar o comprimento equivalente total dos dutos retos e conexões;
- Obter a razão entre a perda de carga e o maior comprimento do sistema;
- Com base no valor da razão entre a perda de carga e o comprimento encontrado anteriormente depois de conhecida a vazão em cada trecho do circuito, é possível encontrar os diâmetros dos dutos em todas as seções;

- Estabelecer as dimensões de todos os trechos, a fim de que a perda de carga total seja dissipada, mantendo sempre os valores de velocidade dentro dos aconselhados, evitando ruídos.

### 2.3.2.3 Método da recuperação estática

Para Creder (2004) este modo de dimensionamento é o que possui maior complexidade que os dois últimos métodos anteriores, justificando a sua aplicação em projetos especiais. O método da recuperação estática baseia-se na redução progressiva da velocidade para recuperar a pressão estática com o intuito de vencer as perdas de carga (MENEZES, 2005).

Ele tenta obter a mesma pressão estática nas junções divergentes do escoamento através da mudança de diâmetro a jusante do duto, sendo a visão deste método desacelerar o escoamento na medida em que a energia é dissipada como perda de carga (SILVA, 2009).

## 2.4 SELF CONTAINED

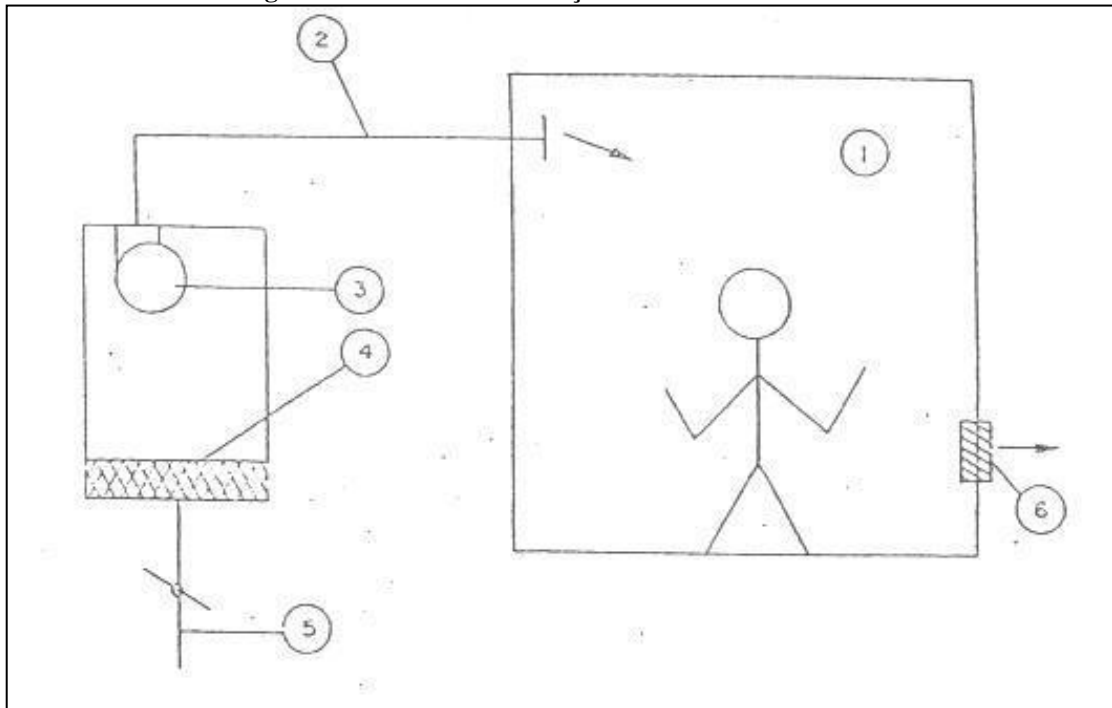
### 2.4.1 Funcionamento

Uma *self contained* de acordo com a norma NBR 16401-1 (2008) é que se trata de uma unidade de capacidade nominal que geralmente ultrapassa 17 Kw já montada em fábrica e tem em sua constituição uma unidade de tratamento de ar com serpentinas de resfriamento de expansão direta juntamente com condensadora resfriada a ar ou a água. Existem opções da máquina que o condensador a ar pode ser separado da unidade para a instalação a distância e também de condensador acoplado.

As *self contained* são consideradas de médio porte e que possibilitam reunir todos os equipamentos em um só gabinete. São usualmente utilizadas para dutos de ar que são direcionados para ambientes comerciais de grandes dimensões e funcionando geralmente em uma faixa de 3TR até 60 TR. Tem como principais vantagens a facilidade em sua instalação e manutenção, grande capacidade frigorífica e menores produções de ruído.

Ela basicamente tem o mesmo princípio de funcionamento que qualquer aparelho, o ar insuflado é “empurrado” para os dutos que conduzem até seus pontos de descarga. A Figura 19 exemplifica como ocorre um esquema básico de insuflamento de ar.

**Figura 19. Sistema de ventilação com insuflamento de ar**



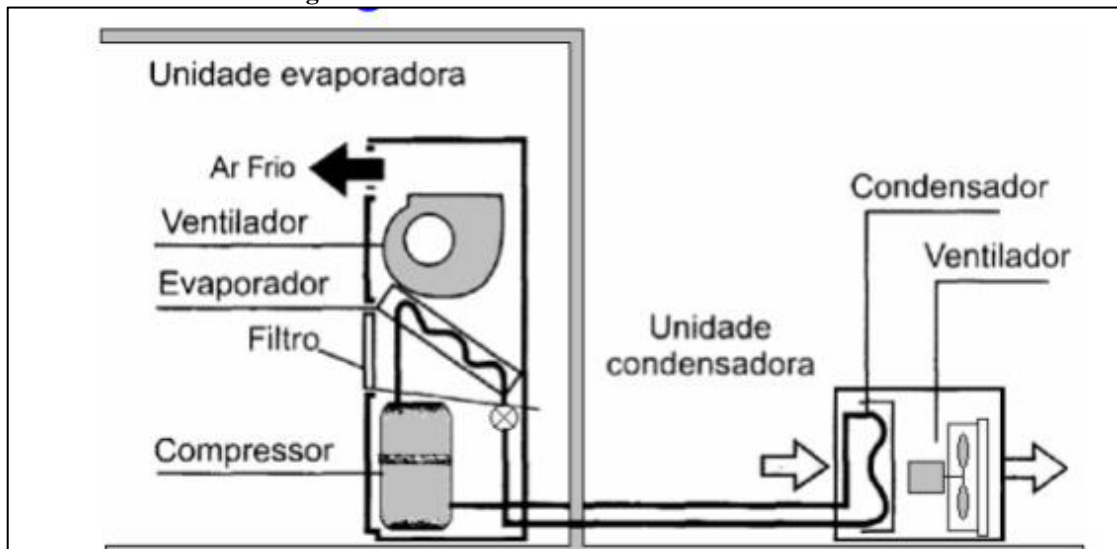
Fonte: Adaptado Matos (2010).

1. Recinto interno a ser refrigerado;
2. Duto de insuflamento levando o ar;
3. Ventilador da máquina;
4. Filtro de ar;
5. Tomada de ar exterior;
6. Saída de ar no ambiente interno.

A Figura 19 destacada anteriormente mostra de forma simplificada como acontece o funcionamento em um sistema de dutos simples em no recinto interno, satisfazendo a necessidade do ambiente e dos indivíduos presentes quando no local é necessária uma refrigeração. Entretanto, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) a *self contained* pode ter a possibilidade de operar mediante a grelha difusora direta no ambiente.

É possível observar na Figura 20 abaixo ilustra-se um *self contained* típica com condensação a ar remoto no sistema, a unidade evaporadora é instalada, próximo ou no próprio local a ser condicionado e a unidade condensadora é instalada externamente ao ambiente. A interligação destas unidades é feita por tubulações de cobre devidamente isolada para circulação do fluido refrigerante (FERRAZ, 2008).

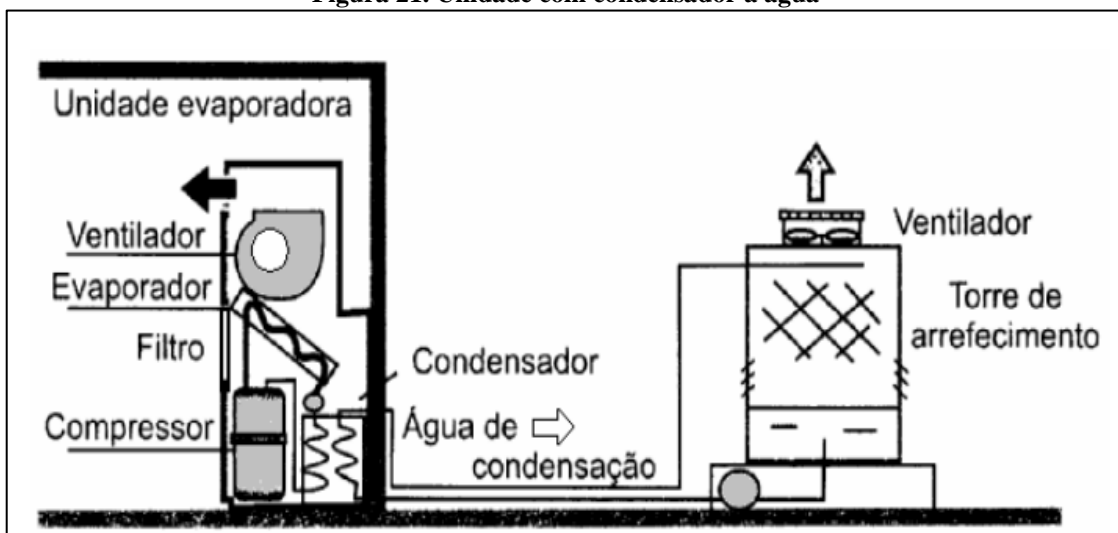
Figura 20. Unidade com condensador a ar remoto



Fonte: Adaptado Ferraz (2008).

Em seguida Ferraz (2008) comenta sobre modelos de *self contained* com o princípio de condensação a água, que em sua forma precisam de uma torre de resfriamento da água para que funcione. O fluido que sai do condensador, aquecido é levado a torre de resfriamento através de uma bomba para a retirada de calor do fluido refrigerante para o ar atmosférico como mostra o esquema da Figura 21.

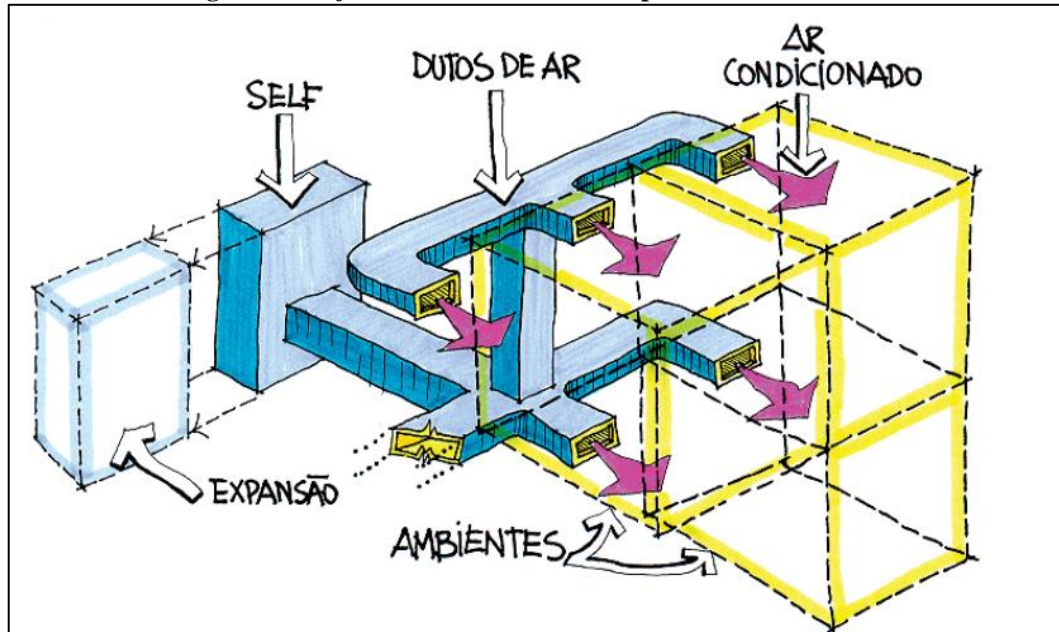
Figura 21. Unidade com condensador a água



Fonte: Adaptado Ferraz (2008).

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) a utilização mais comum para a este tipo de máquina é a que contribui com ar insuflado para vários ambientes simultâneos como é possível ver na Figura 22.

Figura 22. *Self contained* conduzindo ar para vários ambientes



Fonte: Adaptado Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

### 3 METODOLOGIA

O estudo atende ao templo religioso da Igreja do Evangelho Quadrangular de Vila Permanente (IEQVP), que fica localizado na rua Moju, número 01 dentro do município de Tucuruí no estado do Pará, o qual pode ser visto na Figura 23.

**Figura 23. Fachada da Igreja do Evangelho Quadrangular Vila Permanente**



Fonte: Autoria própria (2021).

#### 3.1 LEVANTAMENTO DE CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS E OCUPACIONAIS DO TEMPLO

Para iniciar o projeto é necessário conhecer as características que fazem parte do local para obter-se uma visão geral de como devem ser feitas as considerações para os cálculos que vão constituir a carga térmica e a seleção dos equipamentos. A norma NBR 16401-1 (2008) recomenda que deve haver a coleta de informações sobre as instalações do local com a finalidade de saber se o recinto pode receber os equipamentos necessários.

Por conta disto, na data de 18 de novembro de 2021 foi realizado uma visita *in loco*, na qual foi possível realizar as medições de cunho arquitetônico e estrutural do local para saber as suas reais dimensões juntamente com o auxílio dos responsáveis pelo templo para levantar informações sobre os dias de funcionamento, número de fiéis, composição dos materiais de sua estrutura e contabilização dos itens presentes em seu espaço físico entre outras características dos dias de realização do culto. Na Figura 24, é possível ver o lado interior da igreja.

**Figura 24. Interior do templo Igreja do Evangelho Quadrangular Vila Permanente**



Fonte: Autoria própria (2021).

O templo possui uma estrutura com uma área de aproximadamente 440 m<sup>2</sup> com um pé direito definido por 4 metros. A capacidade total de até 300 pessoas, os cultos são realizados nos dias de terças-feiras, sábados e domingos. Os responsáveis pelo local também relataram que existem programações nacionais e regionais como campanhas e missões que podem ser realizados ao longo de determinados meses do ano e horários. Além disso, nesse levantamento foi possível avaliar equipamentos eletrônicos e suas características para uma melhor compreensão, alguns deles podem ser vistos na Figura 25.

**Figura 25. Equipamentos eletrônicos no recinto**



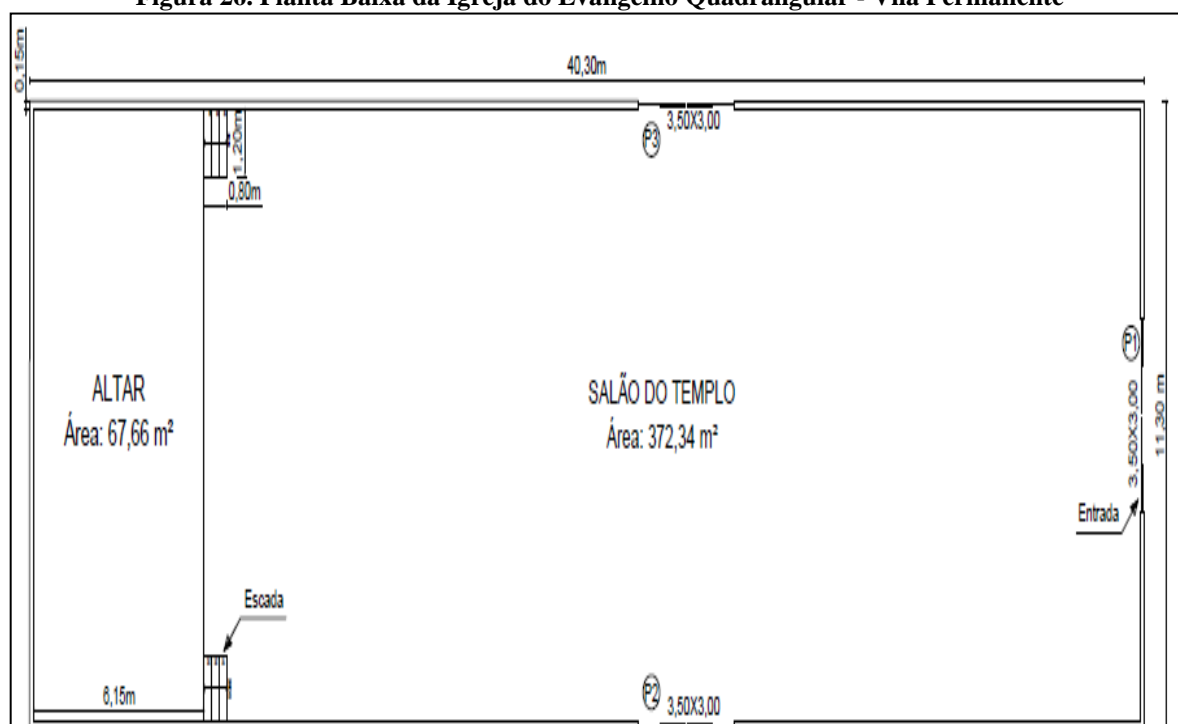
Fonte: Autoria própria (2021).

Todas as informações coletadas, foram utilizadas nas etapas posteriores deste trabalho, respeitando suas formas e didaticamente apresentadas para uma melhor compreensão do projeto e facilidade em sua descrição de seus materiais e componentes.

### 3.2 DETALHAMENTO DE CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS DO TEMPLO

De acordo NBR 16401-1 (2008), para a execução de um projeto é necessário que seja disponibilizada plantas e cortes de arquitetura para uma melhor visualização do local. Em virtude disso, como o local não possuía plantas ou *layout* para a execução do projeto foi necessário ser produzida uma planta com um corte em 2D sendo produzida no *software* AutoCAD como mostra a Figura 26, sendo disponibilizada por completo no **APÊNDICE A**.

**Figura 26. Planta Baixa da Igreja do Evangelho Quadrangular - Vila Permanente**



Fonte: Autoria própria (2022).

O templo religioso foi dividido em duas seções sendo uma o altar onde as pessoas responsáveis pelo culto se localizam e salão que é onde ficam as pessoas que estão assistindo. O local não possui janelas, mas possui 3 portas de entrada.

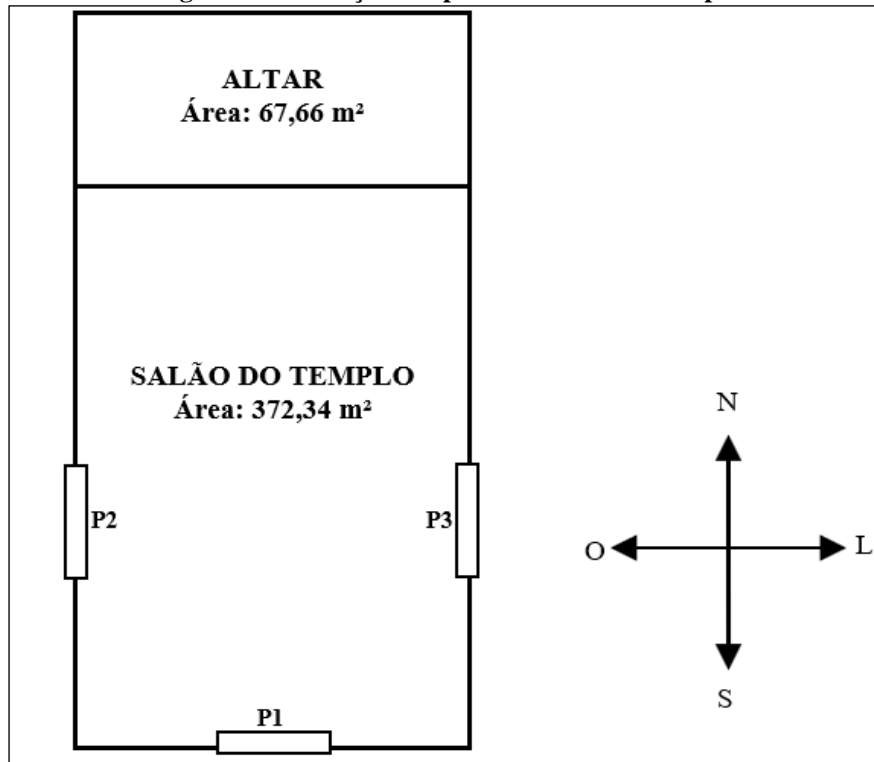
As demais informações do local acerca dos materiais de construção foram coletadas para obter o estudo mais fiel possível, e a execução do projeto ter o maior nível de confiabilidade.

### 3.3 LOCALIZAÇÃO DO TEMPLO

O espaço físico da IEQVP conforme mostrado na Figura 27 não possui prédio ou residência em sua volta sendo totalmente livre ao redor de suas dimensões. Ele fica localizado



**Figura 28. Indicação dos pontos cardeais do templo**



Fonte: Autoria própria (2022).

Algumas etapas que fazem parte deste trabalho levam em consideração os pontos cardeais encontrados, por isso, é muito importante que eles sejam bem definidos levando em consideração a delimitação real da área.

### 3.4 CARGA TÉRMICA

O cálculo da carga térmica seguiu o modelo proposto pela norma ABNT NBR 16655-3 do ano de 2019, pois ao longo dos últimos anos houve um intenso crescimento na climatização de ambientes e modernização nos equipamentos de refrigeração em residências, prédios comerciais, locais públicos e privados. Essa norma destaca os valores mais recentes em relação a fatores que influenciam no desenvolvimento do cálculo da carga térmica do local. A norma sugere que sejam feitas considerações para os horários mais críticos do dia e do ano para que assim não sobrecarregue o sistema em determinadas situações ou períodos do ano.

Para começar o cálculo da carga térmica é necessário a escolha das temperaturas de ar externo e umidade. Até o presente momento do estudo, nenhuma estação meteorológica na região de Tucuruí-PA estava em atividade e nenhum dado foi encontrado sobre essas temperaturas. A norma ABNT NBR 16655-3 (2019) recomenda que caso não seja encontrada a cidade ou local da instalação pode ser usado um valor próximo ou de referência. Na norma

está disponível as temperaturas de ar externo e umidade para sete cidades do país, desta forma, foram escolhidos os dados da capital Belém do Pará.

A distância entre Tucuruí e Belém é de aproximadamente 350 km sendo considerada a localização mais próxima encontrada da região em que será realizado o estudo. Além disso, a capital Belém faz parte do clima amazônico que tem como características grandes índices solares e altas temperaturas. As condições selecionadas foram todas para o verão para a capital como mostra a Tabela 1.

**Tabela 1. Condições de temperatura e umidade do ar externo para o verão**

Cidade	Altitude	Temperatura máxima de bulbo seco (°C)	Temperatura de bulbo úmido coincidente (°C)	Umidade absoluta (Kg de vapor/kg ar seco)	Volume específico ( $m^3$ )	Entalpia (kj/kg)
Belém	16	33,2	25,9	0,0182	0,895	79,87
Brasília	1060	32,2	17,1	0,0082	0,995	53,32
Porto Alegre	3	34,7	24,6	0,0186	0,898	82,43
Recife	10	34,0	27,1	0,0199	0,899	85,20
Rio de Janeiro	3	34,1	25,2	0,0166	0,894	76,72
São Paulo	802	32,1	20,4	0,0117	0,970	62,29
Teresina	67	38,2	23,5	0,0123	0,907	69,95

Fonte: Adaptado NBR 16655-3 (2019).

Logo em seguida é possível ver a Tabela 2 as condições de temperatura interna para o verão. Nela foi selecionado para o ambiente a condição 1, pois é a mais próxima da altitude de Belém que é 16 metros e seus demais valores estão de acordo com as escolhidas para os fatores externos anteriormente mostradas.

**Tabela 2. Condições de temperatura e umidade interna de referência para o verão**

Ar interno	Altitude (m)	Temperatura de bulbo seco (°C)	Umidade relativa (%)	Pressão atmosférica (kPa)	Umidade absoluta (Kg de vapor/kg ar seco)	Volume específico ( $m^3$ )	Entalpia (kj/kg)
Condição 1	50	24,0	50,0	100,73	0,0094	0,860	47,92
Condição 2	50	26,0	50,0	100,73	0,0106	0,867	53,03
Condição 3	500	24,0	50,0	95,46	0,0099	0,908	49,25
Condição 4	500	26,0	50,0	95,46	0,0112	0,916	54,54

Condição 5	750	24,0	50,0	92,63	0,0102	0,936	50,03
Condição 6	750	26,0	50,0	92,63	0,0115	0,944	55,43
Condição 7	1000	24,0	50,0	89,87	0,0105	0,965	50,84
Condição 8	1000	26,0	50,0	89,87	0,0119	0,974	56,34

Fonte: Adaptado NBR 16655-3 (2019).

Selecionadas as temperaturas de verão para ar externo e interno juntamente com seus demais valores pode-se fazer uma análise comparativa entre eles, observando essas diferenças na Tabela 3.

**Tabela 3. Dados selecionados do local**

Belém	Temperatura de bulbo seco [°C]	Umidade absoluta [kg/kg]	Entalpia [J/Kg]	Volume específico [m <sup>3</sup> /kg]
Ar externo no verão	33,20	0,0182	79870,000	0,895
Ar interno no verão	24,00	0,0094	47920,000	0,860

Fonte: Autoria própria (2022).

É possível observar uma queda nos seus valores, principalmente em sua temperatura e umidade absoluta. A partir dessa seleção de dados eles devem ser organizados, dando início ao cálculo da carga térmica.

### 3.4.1 Carga térmica de transmissão por superfícies opacas

Para calcular a carga térmica por transmissão em superfícies opacas, a norma NBR 16655-3 (2019) utiliza a Eq. (1):

$$Q_{strans} = \frac{[A \cdot (CLTD)]}{R} \quad (1)$$

Onde:

$Q_{strans}$  = Carga térmica total através da parede (W);

A = Área da superfície (m<sup>2</sup>);

CLTD = Diferença de temperatura (°C);

R = Resistividade Térmica da superfície (m<sup>2</sup> · °C)/W .

O CLTD é a diferença de temperatura das paredes, têm valores fixados na norma NBR 16655-3 (2019) que disponibiliza para a cidade selecionada de Belém e algumas cidades dando

importância a orientação em relação aos pontos cardeais de suas superfícies opacas e valores corrigidos para o horário de 16h. A Tabela 4 informa sobre esses valores de CLTD.

**Tabela 4. Valores de CLTD para diferentes cidades, corrigido para 16h**

Orientação	Valor de Referência (°C)	Cidades				
		Belém, PA (°C)	Brasília, DF (°C)	Porto Alegre, RS(°C)	Rio de Janeiro, RJ(°C)	São Paulo, SP(°C)
Norte	10	11,1	15,2	11,85	11,2	9,95
Nordeste	15	16,1	20,2	16,85	16,2	14,95
Leste	19	20,1	24,2	20,85	20,2	18,95
Sudeste	20	21,1	25,2	21,85	21,2	19,95
Sul	18	19,1	23,2	19,85	19,2	17,95
Sudoeste	18	19,1	23,2	19,85	19,2	17,95
Oeste	15	16,1	20,2	16,85	16,2	14,95
Noroeste	11	12,1	16,2	12,85	12,2	10,95
Horizontal	24	25,1	29,2	25,85	25,2	23,95
Vidro	8	9,1	13,2	9,85	9,2	7,95

Fonte: Adaptado NBR 16655-3 (2019).

Logo depois de selecionados os valores de CLTD, obtém-se os valores de resistividade térmica das superfícies. A primeira resistividade de superfície opaca que pode ser encontrada são as das paredes do templo, que são compostas em material de tijolo cerâmico de 6 furos com espessura de 0,3 metros. Os valores calculados para a resistência térmica dos tijolos cerâmicos foram retirados da norma ABNT NBR 15220-2 (2005), a partir do qual foi encontrado o valor de  $0,185 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$  para o tijolo sem reboque.

Outros elementos foram considerados como reboque + pintura  $0,034 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$  e filme de ar interno  $0,185 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$  todos dados retirados da ABNT NBR 16655-3 (2019). A Tabela 5 mostra a organização da resistência térmica total das paredes do templo.

**Tabela 5. Resistência térmica das paredes do templo**

Resistência Térmica		
Paredes do Templo	Elementos Construtivos	Resistividade Térmica ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ )
	Reboque + Pintura (0,025 m)	0,034
	Tijolo de 6 furos Cerâmico (0,3 m).	0,185
	Filme de ar interno	0,121

	Reboque + Pintura (0,025 m)	0,034
	Resistividade Total	0,374

Fonte: Adaptado da NBR 16655-3 (2019) e NBR 15220-2 (2005).

O local possui portas de vidro do tipo 4 folhas (Figura 29) e estão localizadas nas regiões Sul, Leste e Oeste como mostrado na Figura 28. Os materiais que compõem as portas foram adaptados da norma ABNT NBR 16655-3 (2019) da resistividade do vidro para janelas pelo fato da espessura ser a mesma que é de 0,006 m, são todas iguais chegando ao valor de resistência de  $0,008 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ .

**Figura 29. Portas de vidro do templo**



Fonte: Autoria própria (2022).

As portas de vidro e seus elementos possuem suas resistências térmicas contidas na Tabela 6 abaixo.

**Tabela 6. Resistência térmica das portas de vidro do templo**

Resistência Térmica		
	Elementos Construtivos	Resistividade Térmica ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ )
Portas de Vidro	Vidro (0,006 m)	0,008
	Filme de ar externo	0,121
	Filme de ar interno	0,044
	Resistividade total	0,173

Fonte: Adaptado NBR 16655-3 (2019).

A estrutura da IEQ de vila permanente possui telhado de alumínio com estruturas que estão localizadas entre as paredes e o telhado que ficam ao redor possuindo aberturas, as quais ocorrem passagens de ar como mostrado na Figura 30.

**Figura 30. Estruturas de apoio ao telhado em volta do templo**



Fonte: Autoria própria (2022).

As resistências térmicas do teto foram retiradas da NBR 15220-2 (2005) que possui os valores para estruturas de alumínio, os quais, através de correções e admitindo que a estrutura não possui forro, ou seja, não detém de uma câmara de ar com uma dimensão definida, o valor de resistividade total é de  $0,587 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ .

Depois de conhecidos os valores de resistência térmica dos materiais das superfícies do local, foram identificadas as áreas das paredes e portas de vidro a partir das medições realizadas. Na Tabela 7 é possível ver as dimensões de cada uma e orientações.

**Tabela 7. Paredes e seus valores de áreas**

Paredes do Templo	
Orientação	Área (m <sup>2</sup> )
Parede Norte	44
Parede Sul	33,5
Parede Leste	149,5
Parede Oeste	149,5
Porta de vidro Sul	10,5

Porta de vidro Oeste	10,5
Porta de vidro Leste	10,5
Teto	440

Fonte:Autoria própria (2022).

Nas paredes de orientação sul, leste e oeste foram necessárias subtrações de suas áreas pois elas continham as entradas da igreja de materiais diferentes dos seus, tornando seus valores mais de acordo com a estrutura do local.

### 3.4.2 Carga térmica devido a insolação

A carga térmica referente a insolação que adentra as janelas pode ser calculada através da Eq. (2), retirada da NBR 16655-3 (2019).

$$q_{S_{ins}} = A_v \cdot SC \cdot SHGF \cdot CLF \quad (2)$$

Onde:

$q_{S_{ins}}$ = Carga térmica de insolação nas superfícies de vidro;

$A_v$ = Área dos vidros da janela, (m<sup>2</sup>);

SC= Fator de sombreamento (adimensional);

SHGF= Fator de ganho de calor por insolação (W/m<sup>2</sup>);

CLF= Fator de carga de resfriamento em função do horário (adimensional).

Na estrutura do templo da igreja notou-se que ela não possui janelas, porém suas portas são de vidro de espessura semelhante às encontradas na norma 16655-3 (2019). Desta maneira foram consideradas as áreas das portas para este cálculo, pois o calor por insolação afeta da mesma forma que afeta as janelas, esta consideração foi para se obter a melhor forma consolidando o conforto térmico no local segunda a norma utilizada. Relembrando a Tabela 7 destacada anteriormente, a qual possui as áreas tanto das paredes quanto das portas.

O fator Solar Heating Gain Factor (SHGF) escolhido foi para a cidade selecionada no início do estudo que é a capital Belém do Pará, com o mês de janeiro sendo a referência como data do ano, seus valores são as potencias solares máximas e suas orientações de acordo com as superfícies que estão disponíveis na Tabela 8 com demais capitais com seus valores dados em W/m<sup>2</sup>.

**Tabela 8. Fator de ganho de SHGF de diferentes capitais**

Cidade	Belém, PA	Brasília, DF	Porto Alegre, RS	Rio de Janeiro, RJ	São Paulo, SP
Mês	Janeiro				
<b>Orientação</b>	<b>Unidade (W/m<sup>2</sup>)</b>				
Norte	363	135	204	142	142
Nordeste	634	363	458	555	555
Leste	615	666	678	672	672
Sudeste	243	582	532	407	407
Sul	120	163	128	145	145
Sudoeste	243	582	532	407	407
Oeste	615	666	678	672	672
Noroeste	634	363	458	555	555
Horizontal	820	876	866	877	877

Fonte: Adaptado NBR 16655-3 (2019).

O fator de sombreamento (SC) é um fator de correção solar transmitido para o ambiente em relação as características do vidro, como absorção, reflexão e consistência do vidro, foi considerado o vidro com espessura de 0,006 m simples conforme a Figura 29 já mencionada e o valor escolhido foi de 0,87 por ser simples, não possuindo cortinas na parte interna, esse e outros valores são demonstrados na Tabela 9.

**Tabela 9. Coeficientes de sombreamento (adimensional)**

Vidro 0,006 m		
Simple	Simple + Cortina	Refletivo+ Cortina
0,87	0,55	0,30

Fonte: Adaptado NBR 16655-3 (2019).

Depois de selecionados esses valores, foi escolhido o fator de CLF que é um fator de carga de resfriamento que a própria norma NBR 16655-3 (2019) disponibiliza para o horário de 16h com suas posições geográficas como mostra a Tabela 10.

**Tabela 10. Fator de carga de resfriamento às 16h**

Orientação geográfica	Fator de carga de resfriamento em função do horário (adimensional)
Norte	0,75
Nordeste	0,20
Leste	0,17
Sudeste	0,22
Sul	0,35
Sudoeste	0,81
Oeste	0,82
Noroeste	0,73
Horizontal	0,58

Fonte: Adaptado NBR 16655-3 (2019).

### 3.4.3 Carga térmica devido às pessoas

O cálculo nesta etapa considera a carga térmica referente aos indivíduos no local em função de suas atividades. A parcela de ganho de calor que se dá por indivíduos no ambiente está disponível na norma NBR16655-3 (2019) descrita na Eq. (3).

$$Q_{\text{pessoas}} = n \cdot Q_p \cdot \text{CLF} \quad (3)$$

Onde:

$Q_{\text{pessoas}}$ = Carga térmica total devido as pessoas (W);

$n$ = Número de pessoas no local;

$Q_p$ = Calor total de uma pessoa (W);

CLF= Fator de carga de resfriamento adimensional.

Na Eq. (3) o calor total de uma pessoa nada mais é que o calor latente somado ao calor sensível, essas duas variáveis mudam conforme as atividades desenvolvidas pelo indivíduo. Para a igreja foram consideradas as atividades realizadas no local.

A capacidade total do templo é de 300 pessoas, sendo que 10 membros estão no altar executando atividades em pé de forma leve com calor sensível e latente respectivamente de 65 W e 80 W, outros 10 indivíduos são responsáveis por tarefas complementares no auxílio do culto e estão andando com uma parcela de 75 W e 145 W. A maioria dos fieis do templo estão

sentados em repouso somando 63 W e 52 W, estas parcelas de calor sensível e latente foram retiradas do Frota e Schiffer (2001) que está disponível no **ANEXO A**, o qual possui diversas atividades que poderiam ser consideradas.

O Cooling Load Factor (CLF) é a parcela de resfriamento que faz parte da equação 3, entretanto é um número adimensional que dentro dos cálculos tem o valor de 1, o que torna ele não tão relevante.

#### 3.4.4 Carga térmica por iluminação e equipamentos

Com o intuito de realizar esta parte do cálculo foi necessária uma coleta de caráter minucioso sobre a quantidade de lâmpadas, refletores e equipamentos elétricos no templo religioso sempre procurando saber suas potências unitárias. O método para que fosse obtida a quantificação da carga térmica por iluminação e equipamentos foi com a utilização da Eq. (4) fornecida pela ABNT NBR 16655-3 (2019).

$$q_{\text{equip}} = P_{\text{equip}} \cdot \text{CLF} \quad (4)$$

Onde:

$q_{\text{equip}}$ = Carga térmica total do equipamento (W);

$P_{\text{equip}}$ = Potência instalada do equipamento (W);

CLF= Fator de carga de resfriamento (Adimensional).

Através da coleta de dados realizado na igreja foram encontradas 25 lâmpadas com suas potências individuais avaliadas em 32 W juntamente com 2 refletores com 150 W cada, que ficam localizadas próximas ao altar para melhorar a iluminação. Para o fator de uso CLF foi considerado-se o valor de 1, uma vez que a maioria dos cultos são realizados no período da noite tendo assim um uso contínuo do início ao fim dos cultos.

As principais informações dos equipamentos elétricos do local estão disponíveis na Tabela 11.

**Tabela 11. Informações dos equipamentos elétricos do local**

Informações dos equipamentos elétricos do local			
Equipamento	Quantidade	Potência unitária	CLF
Caixa de som parede	2	100	1
Caixa de som quadrada	6	150	1
Mesa de som	1	300	1

Data show	1	700	0,5
Computador	1	135	0,8

Fonte: Autoria própria (2022).

A igreja tem um grande número de equipamentos de som em virtude do grande tamanho que sua área possui. Desta forma, estes equipamentos podem ser divididos em duas categorias, as quais, uma são as caixas que estão presas nas paredes e as caixas de som quadradas conforme destacam a Figura 31. Essa divisão ocorreu pela diferença de potência unitária que cada modelo apresentava.

**Figura 31. Equipamentos de som utilizados na Igreja**



Fonte: Autoria própria (2021).

Outros equipamentos destacaram-se pela expressiva potência individual, e tiveram seus valores de resfriamento considerados conforme sua frequência de uso durante as atividades do local. O computador com 0,8 de CLF e o aparelho data show 0,5 foram os que obtiveram valores desiguais, os equipamentos restantes tiveram o valor de 1.

### **3.4.5 Carga térmica por renovação e infiltração**

Para a realização da carga térmica por infiltração foi escolhido o método das frestas. Nele as características construtivas da edificação como vedação de janelas, portas e suas

dimensões são levadas em consideração. Utilizam-se duas equações retiradas de Policarpio (2013) sendo estas referente a carga térmica para o calor sensível Eq. (5) e outra para a parcela de calor latente Eq. (6).

#### Calor sensível

$$Q_{\text{inf.s}} = V_{\text{inf}} \times \rho_{\text{ar}} \times C_p (T_e - T_i) \quad (5)$$

Onde:

$Q_{\text{inf.s}}$  = Calor sensível infiltrado, kcal/h;

$V_{\text{inf}}$  = Volume de ar infiltrado no ambiente, m<sup>3</sup>/h (Tabela 12);

$\rho_{\text{ar}}$  = Densidade do ar (1,2 kg /m<sup>3</sup>);

$C_p$  = Calor específico do ar (0,24 kcal/kg.°C);

$T_e$  = Temperatura externa °C, (Tabela 3);

$T_i$  = Temperatura Interna °C, (Tabela 3).

#### Calor latente

$$Q_{\text{inf.L}} = V_{\text{inf}} \times \rho_{\text{ar}} \times (W_e - W_i) \times h_{\text{lv}} \quad (6)$$

Onde:

$Q_{\text{inf.L}}$  = Calor latente infiltrado, kcal/h;

$\rho_{\text{ar}}$  = Densidade do ar, (1,2 kg /m<sup>3</sup>);

$V_{\text{inf}}$  = Volume de ar infiltrado no ambiente m<sup>3</sup>/h (Tabela 12);

$W_e$  = Umidade Absoluta externa, (Tabela 3);

$W_i$  = Umidade Absoluta interna, (Tabela 3);

$h_{\text{lv}}$  = Calor de vaporização da água, (583 kcal/kg).

Apresentadas as Eq. (5) e (6) e algumas de suas informações já definidas acerca das características do ar é necessário voltar a Tabela 3, onde estão definidas as temperaturas para bulbo seco externa e interna juntamente com suas umidades absolutas. O volume de ar infiltrado pelas frestas pode ser estimado a partir do Creder (2004), que segundo ele considera-se o tipo de abertura e sua observação quanto ao ajuste, dessa maneira utilizam-se valores de volume estimativo em função do comprimento das frestas das portas e janelas. Na Tabela 12 são observados estes valores.

**Tabela 12. Infiltração de ar exterior**

Infiltração de ar exterior		
Ar pelas frestas		
Tipo de abertura	Ajuste	m <sup>3</sup> /h por metro de fresta
Janela		
Comum	-	3,0
Basculante	-	3,0
Porta		
Porta	Mal ajustada	13,0
	Bem ajustada	6,5

Fonte: Adaptado Creder (2004).

Como já foi mencionado, o templo não possui em sua estrutura janelas em volta, todavia ele possui 3 portas de vidro que foram definidas infiltrações com 13,0 m<sup>3</sup>/h por frestas consideradas mal ajustadas. A razão para essa escolha é que ela possui grandes frestas e o mal fechamento da porta sempre acontece durante as cerimônias.

A estrutura do templo religioso como já relatado não possui forro e possui grandes espaços entre as estruturas do telhado e parede conforme a Figura 32. Por conta disso, pode-se considerar o efeito chaminé objetivando a renovação de ar do local tendo como principal intuito a retirada do ar quente que sobe e o ar mais pesado que desce através da diferença de pressão conhecida neste efeito.

**Figura 32. Espaço entre as estruturas**

Fonte: Autoria própria (2021).

A parcela de efeito chaminé que implica na carga térmica por renovação na igreja foi desconsiderada, pois as medidas das frestas que foram encontradas na parte superior do templo não puderam ser medidas. Sem as informações necessárias tornou-se difícil a estimativa do valor da carga térmica que seria encontrada através destas aberturas.

Com isso, devido à ausência de informações suficientes para o cálculo desta carga térmica, considerou-se uma parcela maior na escolha do equipamento afim de suprir esta carga por renovação.

### 3.4.6 Carga térmica total

A carga térmica total da igreja é representada pelo somatório de todas as cargas térmicas realizadas (Eq. 7), sendo importante para a seleção de equipamentos.

$$Q_t = Q_{s.Opacas} + Q_{ins.} + Q_{Pessoas} + Q_{equip.} + Q_{ilum.} + Q_{inf.} \quad (7)$$

Por mais que as cargas térmicas tenham seus resultados em Watt (W) para projetos e mercado comercial os valores sempre são representados em Unidade Térmica Britânica (BTU) e também Tonelada Refrigeração (TR). Sabendo que 1 W equivale à 3,41 BTU/h e 1 TR corresponde à 12.000 BTU foram feitas as somas e conversões de unidades obtendo-se o valor final de carga térmica total do templo.

## 3.5 DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DUTOS

Esta etapa tem o objetivo de dimensionar da melhor forma possível os dutos dentro do templo IEQVP para que a máquina selecionada alcance o melhor aproveitamento possível e as pessoas no local tenham o melhor conforto térmico. Através de uma análise feita na parte superior do local, a qual pode constatar-se que ele possui um espaço bem amplo que pode ser utilizado este conjunto de dutos.

Segundo a NBR16401-1 (2008), para a definições iniciais do projeto de dutos deve-se fazer a representação do sistema de dutos com suas dimensões já considerando todas as possíveis interferências que possam ser encontradas na parte superior do local.

Na Figura 33 abaixo pode-se ver que existem grandes espaços dos quais os dutos podem ser suspensos de uma altura do piso.

**Figura 33. Imagem do espaço superior interior da IEQVP**



Fonte: Autoria própria (2022).

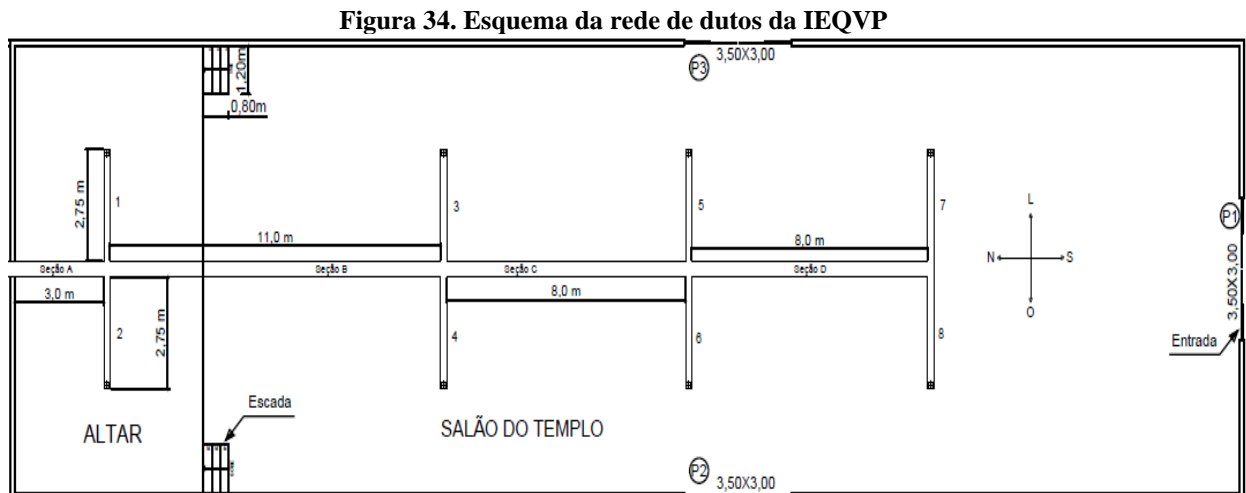
O espaço superior dessa área interna possui grandes espaços tanto na parte horizontal quanto na vertical. Além disso, nenhum tipo de interferência que impossibilite a instalação do sistema de dutos no templo religioso tendo um fácil ambiente interno. Com base na Figura 26 que indica as reais dimensões do local que são 40 metros de comprimento por 11 metros de largura que reforçam ainda mais a amplitude interna do local.

### **3.5.1 Método da velocidade**

Este método segundo Stoecker e Jones (1985) tem como princípio a escolha prévia das velocidades do ar nas tubulações e suas ramificações e com isso a perda de carga pode ser encontrada. A partir da perda de carga no trecho que apresentou o maior valor pode-se selecionar a máquina ideal para o projeto. Inicialmente deve-se considerar para os cálculos dos dutos uma seleção de dados com valores que sejam possíveis para que o projeto seja realizado. A escolha deste método deu-se pela facilidade em seu modo de cálculo juntamente com a grande quantidade de material e informações disponíveis a respeito dele por ser um método comumente utilizado em estudos de dutos.

### 3.5.1.1 Rede e dimensão dos dutos

A NBR 16401-1 (2008) recomenda que seja feito preliminarmente um dimensionamento da rede de dutos definindo suas passagens verticais e horizontais necessárias. Através das medidas encontradas na planta baixa produzida, foi possível realizar o esquema de dutos da Figura 34.



Fonte: Autoria própria (2022).

Este esquema de dutos demonstrado acima tem 4 metros de distância do piso, que foi a altura escolhida para o pé direito, dessa forma, mantendo o padrão de medidas utilizado desde o início dos cálculos da carga térmica.

O duto principal tem seu início na posição Norte da igreja, que fica localizado no altar do local, ele fica em uma região centralizada da parede norte tendo uma distância horizontal das paredes Leste e Oeste de aproximadamente 5,5 metros. O ramal principal foi dividido em seções que tem suas partes organizadas por letras alfabéticas que vão da letra A até a letra D que é a seção final localizada ao Sul.

Já os ramais secundários tiveram sua nomenclatura divididas em números que vão 1 até 8 os quais indicam o total de ramais secundários e de bocas de saída de ar. Suas posições Leste e Oeste foram escolhidas para melhor atender aos indivíduos presentes no interior da igreja.

Tiveram que ser organizadas dessa forma no esquema para tornar bem explicativos a sua divisão e estruturação dentro do templo. A Tabela 13 abaixo mostra o duto principal e suas ramificações com suas medidas no interior da igreja.

**Tabela 13. Seções dos dutos e suas medidas**

Comprimento das Seções dos Dutos	
Seção	L(m)
A	3
1, 2	2,75
B	11
3,4	2,75
C	8
5, 6	2,75
D	8
7, 8	2,75

Fonte: Autoria própria (2022).

Segundo a norma ABNT 16401-1 (2008) a rede de dutos deve ser a mais curta e direta possível sempre levando em consideração as interferências da estrutura. Como já mencionado anteriormente a estrutura não possui dificuldades para a implementação devido ao grande espaço em sua parte superior. Cada seção foi dividida com o objetivo de atender áreas dentro do templo, isto mostra que tem uma grande importância por trás destas medidas em sua climatização.

A seção A do duto principal é o que tem a menor distância que é de 3 metros, e isto acontece pois no levantamento de características arquitetônicas do templo notou-se que nesta região existia uma sensação térmica de calor maior causadas pela iluminação e equipamentos elétricos. Estrategicamente fica na metade do altar para que dessa forma fosse atendida da melhor forma a região.

Outra parte importante é o ramal B que tem a maior comprimento da tubulação, pois seguido de A levou a metade restante do comprimento do altar e uma parte da igreja localizada ainda na região Norte. Nesta região em questão não estão presentes indivíduos sentados, servindo apenas para transitar entre os lados não sendo necessária bocas de insulflamento. O restante dos ramais principais foi dividido igualmente para melhor atender as pessoas que estão durante a cerimônia.

Os ramais secundários foram organizados de maneira que também indiquem suas bocas de insulamento. Eles têm suas medidas padronizadas de aproximadamente 2,75 metros,

com o objetivo de ter as bocas com descarga de ar mais centralizadas possíveis, criando uma climatização do ambiente interno partindo do centro para as laterais do local.

Nota-se que em ambientes que possuem grandes dimensões e um elevado número de pessoas assim como da IEQ de Vila Permanente, quando instaladas centrais de ar-condicionado nas paredes eles demoram a resfriar os indivíduos localizados no meio, pois existe uma grande parcela de pessoas nos lados, dificultando o fluxo de ar frio para o centro.

O arranjo de bocas foi realizado para atender a maior parte do público localizado no salão da igreja, com o intuito de não deixar espaços tão grandes entre elas e tentar mantê-las com o menor comprimento possível.

### 3.5.1.2 Velocidade e vazão de ar nos dutos

As velocidades do esquema de dutos, são fundamentais para o início cálculo. O módulo de velocidade do ar neste tem como base a NBR 6401 (1980) que fornece valores para diversos locais, ramais principais e secundários juntamente com saídas de máquinas.

Apesar de ser uma norma antiga e que foi substituída pela 16401 (2008) os valores para velocidade recomendados por ela ainda podem ser utilizados pois estes valores funcionam como uma extensão da norma mais atual.

A Tabela 14 teve seus valores retirados da norma NBR 6401 (1980) que recomenda os valores para dutos principais e secundários para locais como: escolas, teatros e edifícios públicos. Os valores da norma por completo estão disponíveis no **ANEXO B**.

**Tabela 14. Velocidades das seções dos dutos**

Velocidade de ar nas Seções	
Seção	Velocidade (m/s)
A	10,0
1	4,50
2	4,50
B	6,50
3	4,50
4	4,50
C	6,50
5	4,50
6	4,50
D	5,00

7	4,50
8	4,00

Fonte: Autoria própria (2022).

Destes valores selecionados todos foram considerados como sendo para dutos principais e ramais secundários exceto o valor da Seção A, o qual sua escolha foi para a máxima descarga do ventilador da máquina que é 10 m/s que levou em consideração a saída da máquina.

Com isso, o último item para dar início aos cálculos é a vazão presentes no sistema que foi considerada para o esquema. Ela foi considerada em metros cúbicos por segundo e está presente para as seções da Tabela 15 demonstrada abaixo.

**Tabela 15. Vazões das seções**

Vazões nas seções da tubulação	
Trechos	Q (m <sup>3</sup> /s)
A	3,00
1	0,375
2	0,375
B	2,25
3	0,375
4	0,375
C	1,50
5	0,375
6	0,375
D	0,75
7	0,375
8	0,375

Fonte: Autoria própria (2022).

A vazão foi dividida para as 8 bocas de insuflamento que foram distribuídas pelo templo como já discutidos no esquema de dutos. Com os dados de comprimento dos dutos, velocidade e vazão pode-se iniciar os cálculos para seu dimensionamento.

### 3.5.1.3 Área da seção do duto

O primeiro cálculo a ser realizado para o dimensionamento é da área da seção transversal que é dado pela Eq. (8) da vazão. Nesta metodologia os dutos são considerados inicialmente

como sendo circulares, posteriormente dependendo da seleção do projeto tem possibilidade de serem convertidos em retangulares, girovais entre outras.

$$Q = S \cdot V \quad (8)$$

Onde:

Q = Vazão em (m<sup>3</sup>/s);

S = Area da seção transversal (m<sup>2</sup>);

V = velocidade do escoamento (m/s).

Através de uma reorganização da equação 8 é possível obter a área da seção transversal já que se conhece a velocidade e vazão Eq. (9).

$$S = \frac{Q}{V} \quad (9)$$

Esta etapa inicial é necessária com o objetivo de se conhecer as reais dimensões dos dutos sendo etapa antecessora para se realizar o cálculo do diâmetro hidráulico da tubulação.

#### 3.5.1.4 Diâmetro dos dutos

Com a área da seção transversal da tubulação encontrada deve-se reordenar a Eq. (10) para que seja encontrado o diâmetro hidráulico.

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (10)$$

Dessa forma chegando à Eq. (11) do diâmetro hidráulico.

$$d_h = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad (11)$$

Onde:

A = Área da seção transversal (m<sup>2</sup>);

d<sub>h</sub> = diâmetro hidráulico (m<sup>2</sup>);

π = 3,14.

#### 3.5.1.5 Número de Reynolds

O módulo de *Reynolds* (abreviado como Re) é um número adimensional usado em mecânica dos fluidos para o cálculo do regime de escoamento de um determinado fluido sobre uma superfície. As Eq. (12) e (13) retiradas da *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE* (2013), exemplifica como é calculado o *Reynolds*.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D_h}{\mu} \quad (12)$$

$$Re = \frac{V \cdot D_h}{\nu} \cdot \rho \quad (13)$$

Onde:

$\nu$  = Coeficiente de viscosidade 0,0000182 (Pa.s);

$D_h$  = Diâmetro hidráulico (m<sup>2</sup>);

V = Velocidade (m/s);

$\rho$  = Peso específico do ar (1,2 kg/m<sup>3</sup>).

Suas variáveis possuem os valores de diâmetro hidráulico e velocidades dos dutos calculados anteriormente para suas seções. O coeficiente de viscosidade dinâmica do ar que fica na temperatura de 20°C equivale a 0,0000182 Pa.s, todas estas variáveis são divididas pela massa específica do ar que segundo a norma NBR 16401 (2008) disponibiliza o valor de 1,2 kg/m<sup>3</sup>. Os valores encontrados no número de *Reynolds* são todos utilizados na etapa seguinte.

### 3.5.1.6 Equação de colebrook-white

O número de *Colebrook-White* tem uma grande relevância para o dimensionamento pois é através dela que se obtêm o método mais preciso para a lei de resistência ao escoamento de fluidos. Nela é possível realizar o cálculo da grandeza  $f$ , que nada mais é que o fator de atrito, que é uma parcela importante para as perdas de cargas nas tubulações.

A Eq. (14) de *Colebrook-White* retirada da ASHRAE (2013) mostra quais grandezas estão relacionadas para encontrar o fator de atrito.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \cdot \log \left( \frac{\frac{\varepsilon}{D_h}}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (14)$$

Onde:

$f$  = Fator de atrito (adimensional);

$\varepsilon$  = Fator de rugosidade da tubulação 0,00009 m;

$D_h$  = Diâmetro hidráulico (m<sup>2</sup>);

$Re$  = Número de *Reynolds* (adimensional).

Os valores que fazem parte deste cálculo são os já calculados como o diâmetro da tubulação e o número de *Reynolds* já mencionados nas etapas passadas. A literatura da ASHRAE (2013) recomenda para vários tipos de aço galvanizado que a rugosidade média

seja de aproximadamente 0,00009 m, o que torna a tubulação com uma grande variedade na escolha de materiais de construção dos dutos.

### 3.5.1.7 Equação de darcy-weisbach

As etapas anteriores foram fundamentais para que fosse realizado o cálculo da perda de carga que é feito através do método de *Darcy-Weisbach*. Na Eq. (15) encontrada na ASHRAE (2013), pode-se aplicar o fator de atrito  $f$  feito na etapa anterior juntamente a demais informações sobre os dutos.

$$\Delta p = f \cdot \left( \frac{L}{D_h} \right) \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (15)$$

Onde:

$\Delta p$ : perda de carga;

$f$ : fator de atrito (adimensional);

$L$ : comprimento do tubo (m);

$\rho$  = peso específico do ar ( $1,2 \text{ kg/m}^3$ ).

$D_h$ : Diâmetro hidráulico ( $\text{m}^2$ );

$V$ : velocidade no duto (m/s).

Com ela é possível encontrar a perda de carga distribuída que é a parcela que é perdida que acontece em virtude das paredes dos dutos em trechos retilíneos da tubulação, os quais fazem a pressão ir diminuindo gradativamente ao longo do comprimento.

Outra parcela que é levada em consideração é a perda localizada, que acontece em trechos da tubulação os quais, possuem acessórios como por exemplo: válvulas, curvas, conexões entre outros.

A presença desses acessórios favorece a alteração do módulo ou direção dos fluidos ocasionando a perda de pressão no local em que estão instalados. Valores de perda de carga são atribuídos a esses acessórios para que dessa forma o cálculo da perda de carga total possa ser realizado.

Está parcela pode ser representada na Eq. (16) abaixo, a qual demonstram a soma entre está duas parcelas com a consideração dos demais componentes.

$$\Delta p = k_D + \sum k_L \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (16)$$

Onde:

$\Delta_p$  = Perda de carga total;

$k_D$  = Perda de carga Distribuída;

$k_L$  = perda de carga localizada;

$V$  = velocidade no duto (m/s);

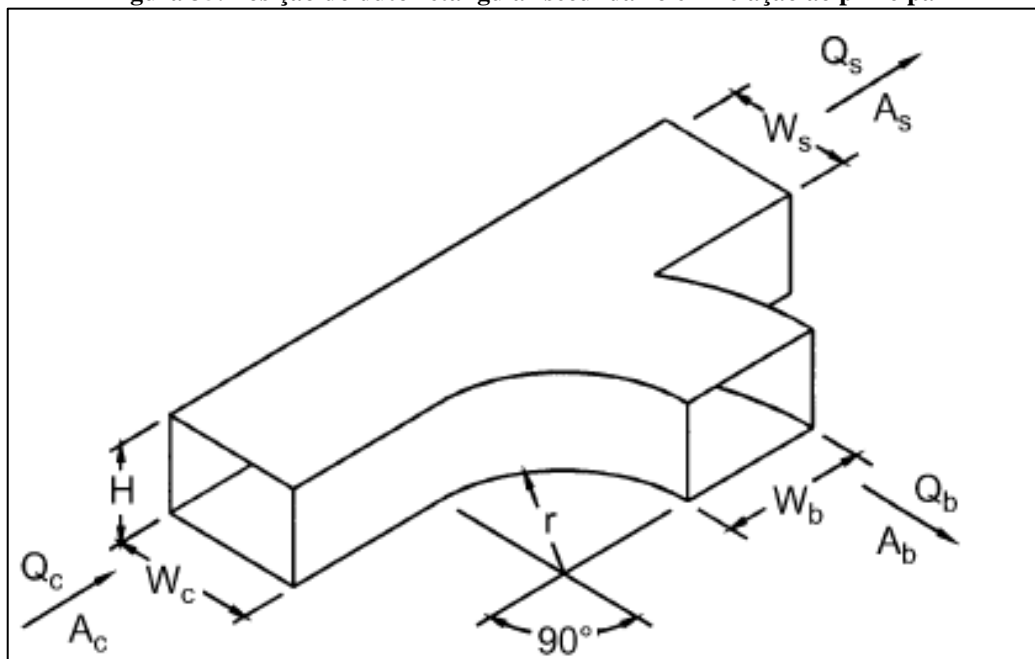
$\rho$  = Peso específico do ar ( $1,2 \text{ kg/m}^3$ ).

Para a realização dos cálculos de  $k_L$  é necessário a contabilização dos componentes em cada trecho do esquema da tubulação. O primeiro componente que fará parte é a perda de carga devido ao difusor que segundo a *The Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association* - SMACNA (1990), que atribui o valor de 0,64 para a Seção A da tubulação, ele representa a saída da máquina que tem altos valores de vazão e velocidade juntamente com uma saída retangular. Em outras seções nos dutos retilíneos foi considerado o valor de 0 por não possuírem perdas localizadas.

Para a perda de carga nos ramais secundários, os valores de perda localizada levaram em consideração grelhas retangulares que possuem de 80% a 90% na passagem de ar livre que possuem o fator de 1,2. Este modelo de grelha é amplamente utilizado no mercado e estará presente em cada boca de insuflamento.

Juntamente com ela serão somados os valores das entradas dos ramais secundários que são retangulares e tem uma inclinação de  $90^\circ$  referente ao ramal principal como pode ser visto na Figura 35 que foi retirada da ASHRAE (2001).

**Figura 35. Posição do duto retangular secundário em relação ao principal**



Fonte: Adaptado ASHRAE (2001).

Este modelo de duto retangular tem como princípio para a sua seleção a relação  $A_s + A_b \geq A_c$  que significa que esse modelo só poderá ser selecionado quando a área de seção da saída do duto principal  $A_s$  somada a área de seção da saída do ramal secundário  $A_b$  devem ser maiores que a área de seção da entrada  $A_c$ . Após satisfazer a condição são feitos cálculos para as reduções dos dutos e de suas vazões que se utilizam as Eq. (17), (18) e (19).

$$\frac{Q_b}{Q_c} \quad (17)$$

$$\frac{A_s}{A_c} \quad (18)$$

$$\frac{A_b}{A_c} \quad (19)$$

Onde:

$Q_b$  = Vazão que sai do duto secundário (m<sup>3</sup>/s);

$Q_c$  = Vazão que entra no duto principal (m<sup>3</sup>/s);

$A_s$  = Área de saída da seção transversal do duto principal (m<sup>2</sup>);

$A_c$  = Área de entrada da seção transversal do duto Principal (m<sup>2</sup>);

$A_b$  = Área da seção transversal do duto secundário (m<sup>2</sup>).

Os valores encontrados são selecionados dentro da Tabela 16 que tem fatores de  $k_L$  para as perdas de cargas dos ramais, estas informações são disponibilizadas na ASHRAE (2001).

**Tabela 16. Tabela com valores de perda localizada dos ramais**

Valores de $k_L$ para Dutos de 90°										
		$Q_b/Q_c$								
$A_s/A_c$	$A_b/A_c$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.50	0.25	3.44	0.70	0.30	0.20	0.17	0.16	0.16	0.17	0.18
	0.50	11.00	2.37	1.06	0.64	0.52	0.47	0.47	0.47	0.48
	1.00	60.00	13.00	4.78	2.06	0.96	0.47	0.31	0.27	0.26
0.75	0.25	2.19	0.55	0.35	0.31	0.33	0.35	0.36	0.37	0.39
	0.50	13.00	2.50	0.89	0.47	0.34	0.31	0.32	0.36	0.43
	1.00	70.00	15.00	5.67	2.62	1.36	0.78	0.53	0.41	0.36
1.00	0.25	3.44	0.78	0.42	0.33	0.30	0.31	0.40	0.42	0.46
	0.50	15.50	3.00	1.11	0.62	0.48	0.42	0.40	0.42	0.46
	1.00	67.00	13.75	5.11	2.31	1.28	0.81	0.59	0.47	0.46

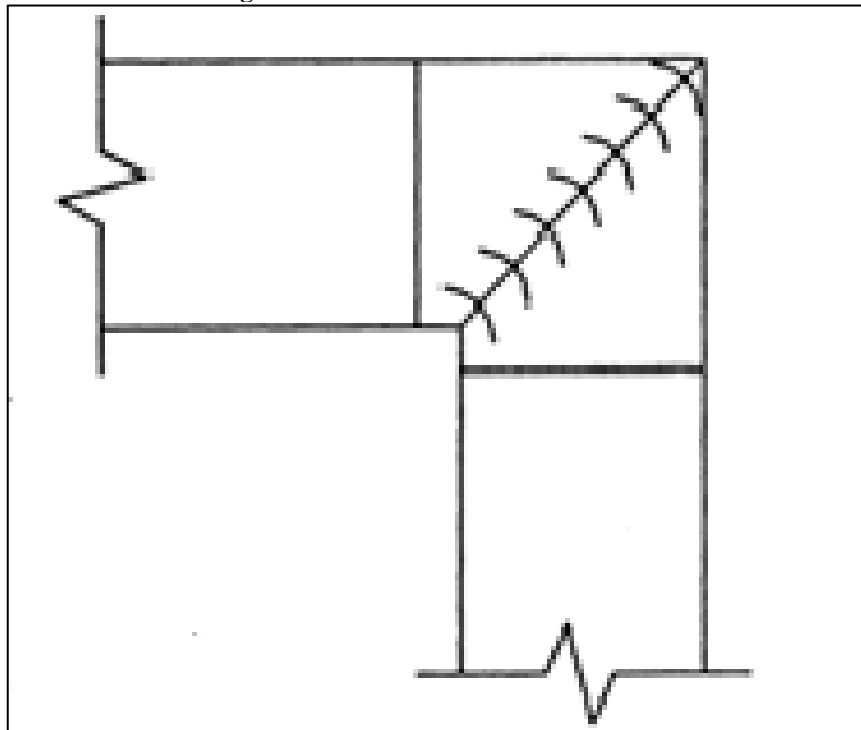
Fonte: Adaptado ASHRAE (2001).

Algumas perdas de carga não puderam ser encontradas por aproximação de valores, desta forma fez-se necessário fazer uma interpolação, a qual, obtivessem números mais consistentes e confiáveis.

Para os ramais secundários 7 e 8 localizados na seção D foi considerado o valor médio de  $k_L$  equivalente à 0,11 pois sua estrutura é diferente das demais pois estão no final do trecho e possuem  $90^\circ$ , desta maneira não puderam entrar para o processo anterior devido a sua característica referente ao ramal principal.

A Figura 36 foi retirada da ASHRAE (2001), que exemplifica essa estrutura final dos ramais secundários.

**Figura 36. Ramais secundários do final**



Fonte: Adaptado ASHRAE (2001).

Logo após feitas as considerações para perdas de carga podem-se fazer a soma entre o cálculo da perda distribuída juntamente com a localizada, para que dessa forma encontre-se o valor da perda de carga total.

É necessário que seja feita uma organização dos trechos presentes na tubulação com intuito de identificar as maiores perdas de pressão juntamente com o trecho mais crítico que nada mais é que o trecho que possui maior perda de carga.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARGA TÉRMICA

#### 4.1.1 Carga térmica de transmissão por superfícies opacas

A partir dos dados apresentados anteriormente nas Tabelas 4,5,6 e 7, foram obtidos os resultados das cargas térmicas por transmissão de superfícies opacas, utilizando a equação 1, todos os valores encontrados estão presentes na Tabela 17.

**Tabela 17. Transferência de calor por superfícies opacas**

Transferência de calor através de superfícies				
Orientação	Resistividade térmica ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )	Área ( $m^2$ )	CLTD ( $^\circ C$ )	Transmissão de calor ( $W$ )
Parede Norte	0,374	44	11,1	1305,88
Parede Sul	0,374	33,5	19,1	1710,82
Parede Leste	0,374	149,5	20,1	8034,62
Parede Oeste	0,374	149,5	16,1	6435,70
Porta de vidro Sul	0,173	10,5	19,1	1159,25
Porta de vidro Oeste	0,173	10,5	16,1	977,16
Porta de vidro Leste	0,173	10,5	20,1	1219,94
Teto/laje	0,587	440	12,2	9144,80
TOTAL				29988,17

Fonte: Autoria própria (2022).

Com os resultados obtidos é possível analisar, que para cada superfície por mais que suas áreas e seus materiais sejam idênticos a orientação em relação ao seu CLTD é diferente, tornando o estudo do local mais fiel em relação as suas posições cartográficas seguindo as orientações da norma ABNT (2019). O maior índice de carga térmica foi o do teto e sua estrutura, pois possui uma grande área comparado aos demais.

#### 4.1.2 Carga térmica devido a insolação

O cálculo da carga térmica através das superfícies de vidro pode ser realizado a partir da equação 2 com os dados selecionados das Tabelas 8, 9 e 10 e os resultados obtidos destacados na Tabela 18.

**Tabela 18. Carga térmica devido a insolação nas superfícies de vidro do templo**

Carga Térmica Devido a Insolação nas Superfícies de Vidro					
Orientação	Área (m <sup>2</sup> )	SHGF (W/m <sup>2</sup> )	SC	CLF	Transmissão de calor através do vidro (W)
Porta Sul	10,5	120	0,87	0,35	383,67
Porta Oeste	10,5	615	0,87	0,82	4606,78
Porta Leste	10,5	615	0,87	0,17	955,06
TOTAL					5945,51

Fonte: Autoria própria (2022).

Vale ressaltar que os valores encontrados nos resultados da porta Oeste e Leste foram os maiores pois seus valores de SHGF tem um valor muito expressivo, tendo uma relação direta com a intensidade que a radiação solar incide sobre as superfícies.

Essas posições geográficas são conhecidas pelo nascer e pôr do sol que acontecem durante o dia, então as superfícies nesses pontos tendem a ficar um período de tempo maior com um alto teor de incidências solares.

#### 4.1.3 Carga térmica devido às pessoas

A carga térmica devido as pessoas, só foi possível em virtude da equação 3 e as considerações realizadas tornaram os resultados mais fiéis a realidade do local, sendo seus resultados levados em consideração como destacado na Tabela 19.

**Tabela 19. Carga devido as pessoas no templo**

Carga térmica devido as pessoas				
Atividades	Número de Pessoas	Calor Sensível (w)	Calor Latente (w)	Calor Total (w)
Sentado, em repouso	280	63	52	32200
Em pé trabalho leve	10	65	80	1450
Andando	10	75	145	895
TOTAL				34545

Fonte: Autoria própria (2022).

O maior valor de carga térmica a partir dos indivíduos se deu pelas pessoas sentadas em repouso, pois elas estão em maior quantidade no local. Observa-se que os valores para calor sensível e latente tem uma importância fundamental devido as atividades exercidas, a contribuição dos responsáveis do templo com informações sobre estas atividades exercidas durante as reuniões foi de fundamental importância.

De propriedade desse conhecimento pode-se com ele dizer qual atividade escolher em uma literatura utilizada, influenciando decisivamente no resultado final da carga térmica.

#### 4.1.4 Carga térmica por iluminação e equipamentos

Os resultados foram divididos entre iluminação e equipamentos para uma melhor visualização de seus números e organização de suas quantidades. Os resultados dos equipamentos de iluminação só foram feitos a partir da equação 4 juntamente com a definição das potencias unitárias, os valores obtidos podem ser conferidos na Tabela 20.

**Tabela 20. Carga térmica devido a iluminação**

Carga térmica devido a iluminação					
Equipamento	Quantidade	Pot. Unitária (W)	Pot. Total instalada (W)	Fator de uso	Carga térmica (W)
Lâmpadas	25	32	800	1	800
Refletores	2	150	300	1	300
TOTAL					1100

Fonte: Aatoria própria (2022).

A carga total encontrada para iluminação foi de 1100 W grande parte pelas lâmpadas e o restante através de refletores de tamanho pequeno. A sensação de calor é bastante evidente nos indivíduos perto do altar, quanto a parcela de carga térmica para o restante dos equipamentos elétricos pode ser conferida na Tabela 21.

**Tabela 21. Carga térmica devido aos equipamentos**

Carga térmica devido aos equipamentos					
Equipamento	Quantidade	Pot. Unitária (W)	Pot. Total instalada (W)	Fator de uso	Carga térmica (W)
Caixa de som parede	2	100	200	1	200
Caixa de som quadrada	6	150	900	1	900
Mesa de som	1	300	300	1	300
Data show	1	700	700	0,5	350
Computador	1	135	135	0,8	108
TOTAL					1858

Fonte: Aatoria própria (2022).

A grande quantidade de caixas de som quadradas foram os maiores valores para a soma da carga total, por mais que o *data show* tenha o maior valor de potência unitária seu uso não é tão frequente no local, diferentes do equipamento de som que tem seu uso do início ao fim dos cultos religiosos no local.

Notou-se que os equipamentos da igreja geram uma sensação térmica de aumento de temperatura, isso acontece pelo tempo de utilização deles que conforme o efeito Joule, juntamente com a obsolescência de seus materiais construtivos acabando sofrendo um resultado ainda maior.

#### 4.1.5 Carga térmica por renovação e infiltração

Para que o cálculo de infiltração fosse realizado foi necessário fazer uso das equações 5 e 6 em conjunto com os valores dos comprimentos das frestas encontrados nas portas. Considerou-se que cada porta possui 9 metros de frestas verticais sendo as frestas horizontais desconsideradas pois seu mecanismo de abrir e fechar não possui espaços que permitam a passagem de ar de fora para dentro.

Os resultados encontrados estão presentes na Tabela 22.

**Tabela 22. Carga devido a infiltração pelas frestas**

Calor de infiltração - Calor sensível							
$V_{inf}$ . m <sup>3</sup> /h.por metro de fresta		Comp.(m)	$C_p$ (ar) kcal/kg.°C	$\Delta T(^{\circ}C)$	$p_{ar}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$Q_{inf.s}$ (kcal/h)	W
Porta mal ajustada	13,0	27	0,24	9,0	1,2	909,79	1058.09
Calor de infiltração - Calor latente							
$V_{inf}$ . m <sup>3</sup> /h por metro de fresta		Comp.(m)	$\Delta W$ (kg/kg)	h <sub>lv</sub> (kcal/kg)	$p_{ar}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$Q_{inf.L}$ (kcal/h)	W
Porta mal ajustada	13,0	27	0,0088	583	1,2	2160,92	2513.15
TOTAL							3571,24

Fonte: Autoria própria (2022).

Percebeu-se que o maior valor se deu pela parcela de calor latente que no final é somado ao calor sensível, dessa forma, sendo o calor total infiltrado pelas frestas. O valor de do comprimento 27 metros foram as frestas encontradas nas 3 portas juntas.

#### 4.1.6 Carga térmica total

Todas as parcelas foram convertidas de Watt para BTU/h, somadas chegando ao seu total convertidos para TR, podem ser conferidas na Tabela 23.

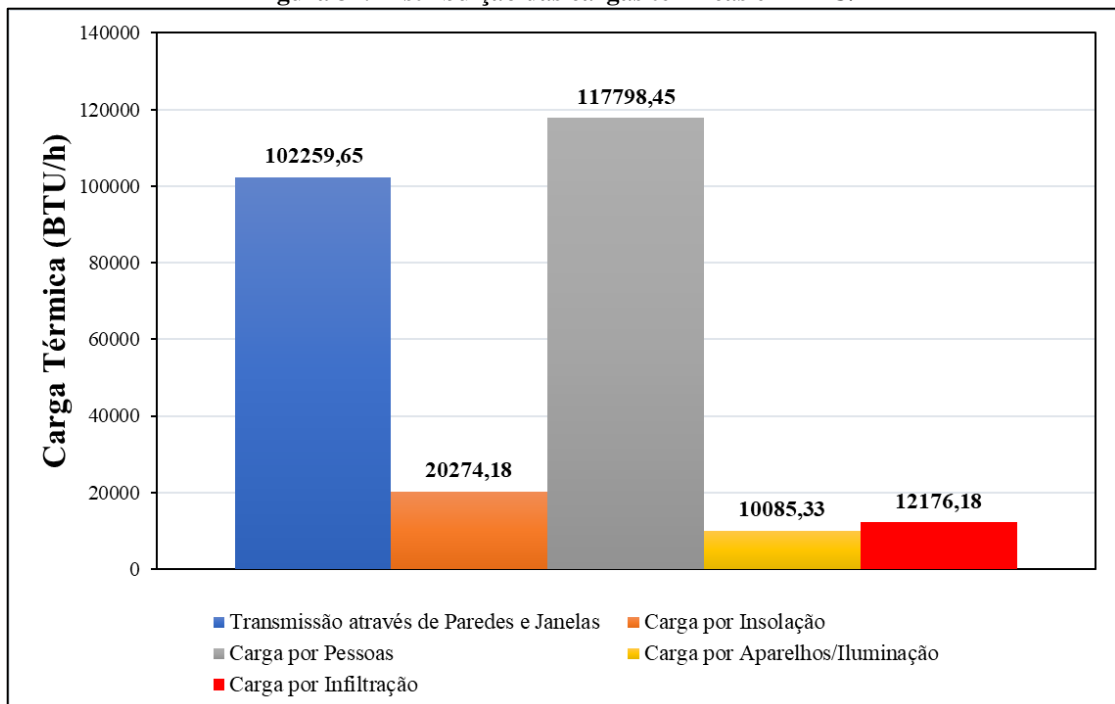
**Tabela 23. Resultado obtido da carga térmica total**

Carga Térmica Total		
Tipos de Transferências	BTU/h	TOTAL em TR
Transmissão através de Paredes e Janelas	102.259,65	21,90
Carga por Insolação	20.274,18	
Carga por Pessoas	117.798,45	
Carga por Aparelhos/Iluminação	10.085,33	
Carga por Infiltração	12.176,18	
Total em BTU/h	262.593,80	

Fonte: Autoria própria (2022).

Estes resultados deixam claro a importância da metodologia aplicada para o cálculo da carga térmica, percebeu-se que o maior valor encontrado foi a por pessoas no local que pelo alto valor era previsível ser a maior parcela devido a expressiva quantidade de pessoas que o ambiente pode suportar durante a realização dos cultos. Outro valor expressivo que vale ressaltar é a transmissão por paredes e janelas que por ser um templo de grandes dimensões de superfícies opacas, justifica este valor alto.

O total das cargas foi somado e convertido chegando ao valor de 21,90 TR, um número bastante expressivo. Na Figura 37 é possível ver a distribuição das cargas térmicas e comparar seus resultados em BTU/h.

**Figura 37. Distribuição das cargas térmicas em BTU/h**

Fonte: Autoria própria (2022).

Através do gráfico anterior é possível ver a disparidade entre os dois maiores valores encontrados e os demais. A resposta para essa diferença acontece porque cálculos para infiltração, aparelhos elétricos/iluminação e insolação foram feitos com uma listagem de variáveis bem diferentes do que se encontraria em um ambiente doméstico.

Na infiltração foram consideradas apenas as principais entradas que existem na estrutura do templo da mesma forma que foi considerada a insolação por superfícies de vidro que são os materiais das portas. Os aparelhos elétricos e iluminação são objetos com intuito de ajudar na execução das cerimônias realizadas, não existindo tantos aparelhos como haveria em uma residência comum.

A estrutura da IEQ de Vila Permanente possui particularidades que dificilmente seriam encontradas em uma residência comum, o fato de possuir uma grande quantidade de pessoas em um local de dimensões consideráveis levam a valores bem mais altos dos os que poderiam ser encontrados em um lugar habitual, seus equipamentos sempre na medida para atender a um volumoso público foram comprados em consideráveis números. Estas variáveis distintas chegaram aos valores apresentados anteriormente na Tabela 23, cabe destacar que esses valores podem ser maiores, pois são capazes de criar uma sensação térmica maior no indivíduo presente.

## 4.2 DUTOS DIMENSIONADOS PARA O TEMPLO

### 4.2.1 Características iniciais da rede dutos

Com as considerações iniciais realizadas para os dutos pode-se chegar a valores concretos que podem expor dimensões reais deles dentro do templo. O método da velocidade empregado proporciona logo no começo do projeto estas dimensões o que pode tornar fácil ajustes em casos onde a arquitetura do local possua limitações em seu plano superior.

A Tabela 24 demonstra os valores encontrados para as seções individualmente que relacionam suas peculiaridades, com suas devidas casas decimais corrigidas para uma melhor organização de seus valores e seus arredondamentos.

**Tabela 24. Informações para o dimensionamento dos dutos**

Dados iniciais para o dimensionamento					
Seção	L(m)	V(m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	A (m <sup>2</sup> )	D <sub>h</sub> (m <sup>2</sup> )
A	3	10,0	3	0,30	0,618
1	2,75	4,50	0,375	0,08	0,326
2	2,75	4,50	0,375	0,08	0,326
B	11	6,50	2,25	0,35	0,664
3	2,75	4,50	0,375	0,08	0,326
4	2,75	4,50	0,375	0,08	0,326
C	8	6,50	1,5	0,23	0,542
5	2,75	4,50	0,375	0,08	0,326
6	2,75	4,50	0,375	0,08	0,326
D	8	5,00	0,75	0,15	0,437
7	2,75	4,50	0,375	0,08	0,326
8	2,75	4,00	0,375	0,09	0,345

Fonte: Autoria própria (2022).

A área das seções transversais dos dutos (A) tem seus maiores resultados nos primeiros ramais principais pois possuem sua relação entre a vazão e velocidade no início do sistema, os quais são relativamente altos comparados aos outros devido as considerações que foram feitas para saída da máquina em direção ao esquema pensado para o local.

Um aspecto que vale ressaltar é o modulo de velocidade que dentro da NBR 6401 (1980) foram selecionados sendo máximos para as situações do templo para desenvolver um sistema mais eficaz para o local, através de valores críticos.

Outra parcela presente na Tabela 24, é o diâmetro hidráulico desses dutos os quais tem mudanças bem evidentes no ramal principal entretanto nos ramais secundários os quais, estão localizadas as bocas de insulflamento possuem menores dimensões. Este fato ocorre devido a sua relação matemática dando ênfase a essas reduções dentro do sistema.

#### 4.2.2 Perda de carga

Entende-se que através das Eq. 14, 15 e 16 que já foram mencionadas foi possível realizar os cálculos de perda de carga para o dimensionamento da rede de dutos na IEQ de vila permanente. Elas puderam possibilitar como é mostrado na Tabela 25 determinar a perda de

carga distribuída ( $\Delta PD$ ) nos dutos retilíneos e a perda localizada ( $\Delta PL$ ) que está presente nas reduções, curvas e componentes do sistema. Ao final foram somadas para se conhecer a perda de carga total ( $\Delta PT$ ) nas seções unitárias.

**Tabela 25. Perda de Cargas Unitárias das Seções**

Perda de Carga Unitária em Pascal (Pa)			
Seção	$\Delta PD$ (Pa)	$\Delta PL$ (Pa)	$\Delta PT$ (Pa)
A	4,4	38,4	42,8
1	2,0	30,7	32,7
2	2,0	30,7	32,7
B	6,7	0,0	6,7
3	2,0	34,5	36,5
4	2,0	34,5	36,5
C	6,2	0,0	6,2
5	2,0	22,5	24,5
6	2,0	22,5	24,5
D	4,9	0,0	4,9
7	2,0	15,9	17,9
8	1,5	12,6	14,1

Fonte: Autoria própria (2022).

Percebeu-se que os maiores resultados obtidos foram considerados na seção A que apesar de ser um duto reto possui perda de carga localizada pois para ele foi considerado a saída da máquina, devido a ele possui componentes como a boca do difusor da máquina além de altos valores de velocidade, e vazão.

Os que obtiveram a menor quantidade de perda de carga, foram encontrados nas últimas seções unitárias e isso ocorre pois os componentes que foram considerados tiveram seus valores avaliados através de suas vazões e velocidades que já não possuíam valores tão grandes devido estarem presente no final da rede de dutos. Os resultados das perdas de carga unitária nos ramais secundários 7 e 8 foram diferentes pois os diâmetros hidráulicos foram desiguais pela relação de vazão e velocidade.

Além disso, o valor presentes nas grelhas que são as saídas de ar dos dutos para o ambiente a ser refrigerado tiveram os valores médios para os formatos que foram considerados que são as retangulares, que frequentemente são utilizadas no mercado.

A forma da seleção de componentes para as seções que obtiveram valores de  $k_L$ , que é a perda de carga localizada tentaram levar as ferramentas utilizadas em manuais de associações de fabricantes, os quais, tem bastante relevância em seus critérios de escolha, valores médios para componentes entre outros. Dessas associações como a SMACNA (1990) são replicados por fabricantes de diversas partes do mundo constituindo-se como uma referência em componentes e dispositivos.

Após feitas estas considerações são imprescindíveis que sejam feitos os cálculos das perdas totais em cada trecho do sistema, utilizando os caminhos que vão contabilizando o caminho que o ar forçado alcança as grelhas de ventilação. A Tabela 26 apresenta todos os trechos presentes no sistema da rede e suas respectivas perda de carga total.

**Tabela 26. Perda de carga total em cada um dos trechos**

Perda de Carga Total nos Trechos em Pascal (Pa)	
TRECHO	$\Delta P$ TOTAL (Pa)
A.1	75,6
A.2	75,6
<b>A.B.3</b>	86,0
<b>A.B.4</b>	86,0
A.B.C.5	80,2
A.B.C.6	80,2
A.B.C.D.7	78,5
A.B.C.D.8	74,7

Fonte: Autoria própria (2022).

Levando em conta o que foi considerado na tabela acima é possível ver que o trecho que tem os valores mais críticos para a perda de carga encontra-se em **A.B.3 e A.B.4** sendo essas perdas de pressão em pascal levadas em consideração na seleção da máquina utilizada pelo sistema. Além disso, os últimos trechos A.B.C.D.7 e A.B.C.D.8 tiveram uma pequena diferença em sua perda de carga que ocorreu pela diferença de vazão que é encontrada logo no começo do dimensionamento dos dutos e acompanha até as perdas de carga final.

#### 4.2.3 Dimensões finais da rede de dutos

Levando em consideração tudo o que já foi apresentado, a última etapa a ser feita é o dimensionamento das medidas dos dutos. O diâmetro hidráulico nada mais é que uma medida

circular que pode ser convertida em outras formas geométricas. O critério de escolha é particular em cada rede de dutos, neste projeto optou-se por converter em medidas para dutos retangulares.

A escolha para dutos retangulares aconteceu porque eles são os mais comuns utilizados em indústria de médio e pequeno porte e projetos de locais mais simples com facilidade de instalação. Ademais, vale ressaltar que o tempo é bem amplo, dessa forma pode-se utilizar dutos com grandes dimensões retangulares.

Para a conversão do diâmetro circular para retangular foi realizada uma consulta no manual da SMACNA (1990), a qual possui uma tabela com valores comerciais. As medidas já conhecidas são transformadas por aproximação que nesta tabela possuem números correspondentes a dimensões de altura e largura do duto, estando disponível todos estes valores no **ANEXO C**.

A conversão tentou padronizar as medidas retangulares da rede de dutos da maneira mais linear possível para que assim torna-se organizado e fácil de ser montado. Na Tabela 27 estão as medidas das dimensões dos dutos retangulares, nas quais a letra A é a altura e B a lateral, estando as medidas em milímetros (mm) originais encontradas e as medidas em metros que foram convertidas.

**Tabela 27. Dimensões dos dutos**  
Dimensões de Altura e Largura dos Dutos

	$D_h$ (m)	A (mm)	B (mm)	A (m)	B (m)
A	0,618	500	750	0,50	0,75
1	0,326	250	350	0,25	0,35
2	0,326	250	350	0,25	0,35
B	0,664	500	750	0,50	0,75
3	0,326	250	350	0,25	0,35
4	0,326	250	350	0,25	0,35
C	0,542	450	550	0,45	0,55
5	0,326	250	350	0,25	0,35
6	0,326	250	350	0,25	0,35
D	0,437	450	550	0,45	0,55
7	0,326	250	350	0,25	0,35
8	0,345	250	350	0,25	0,35

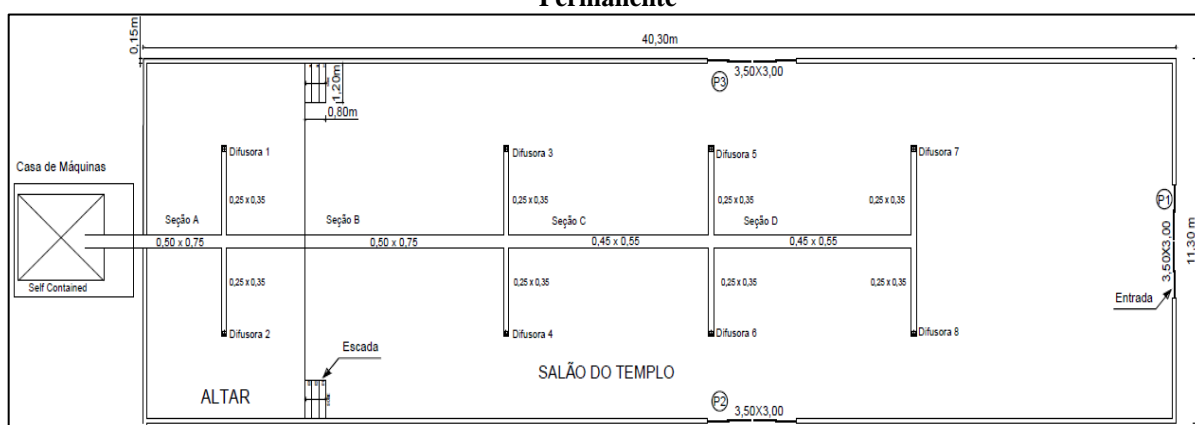
Fonte: Autoria própria (2022).

Notou-se que os maiores valores se mantiveram na rede principal de dutos, sendo considerados de médio porte se comparado a outros projetos. As seções secundárias tiveram

uma redução para melhor se encaixarem na parte superior juntamente pensando nas dimensões das grelhas utilizadas no final do caminho, podendo utilizar medidas comerciais mais comuns possíveis.

Com a concretização de suas dimensões torna-se necessário uma planta em 2D demonstrando as medidas utilizadas no dimensionamento com o tamanho dos dutos dentro da área interna do templo, conforme destaca a Figura 38.

**Figura 38. Planta Baixa de climatização utilizando dutos na Igreja do Evangelho Quadrangular Vila Permanente**



Fonte: Autoria própria (2022).

### 4.3 EQUIPAMENTO SELECIONADO

Esta seleção teve como objetivo escolher uma *self contained* que tivesse a carga térmica de acordo com a encontrada nos cálculos para o templo religioso. Além disso, ela atende as maiores perdas de carga encontradas no sistema de dutos.

A *self contained* quando comparada a aparelhos como chiller, multi-split ou rooftop possui a vantagem de possuir todos os seus componentes em um só gabinete sendo de fácil manutenção juntamente com sua reposição de peças. Outra vantagem é sua faixa de capacidade de refrigeração dada em TR que tem altos valores e pode ser totalmente controlada por meio de programações.

Outro aparelho comum utilizado em locais, é a central *split inverter* que é popularmente chamada de “central de ar”. Ela possui desvantagens para utilização dentro do templo IEQVP pois o local possui grandes dimensões de largura, que para aparelhos que tem a instalação nas paredes laterais é um problema pois tem sua climatização realizada nos indivíduos que estão nas laterais e acaba trazendo um desconforto térmico para as pessoas presentes na parte central do local.

A manutenção dessas centrais split é uma desvantagem, pois quando são instaladas em grande quantidade no recinto requerem mais tempo para ajustes e acabam elevando seu custo.

Com este alto número de unidades no local, aumentam-se o número de peças que são regularmente trocadas em uma central de ar, elevando o valor de manutenções periódicas.

Levando isso em consideração, a *self contained* mostrou o melhor custo benefício para o local juntamente com eficiência, comparando com outros equipamentos foi a que possui a maior facilidade tanto na instalação quanto na manutenção. Seu tamanho de médio porte e facilidade comparados as outras foram fator importante para a sua escolha.

#### **4.3.1 Self contained**

A ABNT NBR 16401 (2008) faz uma série de recomendações que favorecem a conservação e uso consciente de energia na seleção dos equipamentos que devem ser avaliadas em um projeto. O grau de confiabilidade do sistema é assegurado pela qualidade dos componentes individuais juntamente com o histórico da empresa responsável tanto pela fabricação quanto instalação da máquina.

Com os valores encontrados para a carga térmica e perdas de carga anteriormente, deve-se iniciar a seleção dos equipamentos, detalhando a capacidade, consumo energético, peso, tamanho, e todas as informações iniciais necessárias.

A *self contained* selecionada foi da empresa TRANE linha *Diamond* que possui características que se encaixam com as condições do templo. A empresa fabricante já existe há um tempo no mercado brasileiro e possui uma linha de produtos para aquecimento e refrigeração de ambientes comerciais e industriais, além disso, fornece o serviço de instalação e manutenção de seus produtos. Outro fator que foi levado em consideração foi ela possuir materiais de seus equipamentos mais completos e perto da realidade da região Norte a qual está sendo feito o projeto.

Esta linha escolhida possui uma subdivisão em duas séries de modelos que são as SAVE e SIVE com disponibilidades de suas cargas térmicas com capacidades que vão de 20TR a 40TR. A máquina escolhida para o templo foi a SIVE 250 de condensação de ar com capacidade de 25 TR que pode ser vista na Figura 39.

**Figura 39. Self contained Diamond SIVE 250**

Fonte: Adaptado TRANE (2016).

A faixa em TR da máquina foi selecionada com valores mais altos do que os encontrados no resultado da carga térmica, pois deve-se considerar a parcela que não foi contabilizada da renovação de ar que por falta de informações não pode estimada.

Ela também possui componentes que melhoram sua utilização com o objetivo de tornar mais fácil seu uso por indivíduos com menos familiaridade. Segundo o catálogo da TRANE (2016) ela detém em seus equipamentos controles que são programáveis, como o termostato Programável que possui “*Touch Screen*” com programações de 7 dias por semana tendo um menu com programação orientada o que torna seu setup fácil de ser realizado. Os modelos de ar são ideais para layouts que possuem grandes distancias de tubulação, o que consolida ainda mais a escolha do modelo

Segundo a TRANE (2016) ela pode operar nas condições mais extremas de trabalho exigidas pelos testes *American Refrigerator Institute* (ARI), a qual, possui ainda em todos os modelos bandejas de água condensada com desenho exclusivo que evita o acúmulo de água para que não ocorra o acúmulo de fungos e bactérias tudo atendendo as normas da *American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) de *Indoor Air Quality* (IAQ).

Essas certificações dão mais credibilidade ao equipamento não somente no quesito de atender a carga térmica, mas também a saúde dos indivíduos que estarão presente na localidade, sendo uma das principais preocupações nos dias de hoje devido aos padrões de salubridade em locais fechados.

Os principais dados técnicos sobre suas dimensões e características estão na Tabela 28, o restante de suas informações estão todas disponíveis no em seu catálogo disponível no site da TRANE.

**Tabela 28. Principais informações sobre a *self contained* escolhida**

Informações sobre a linha Self Contained SIVE					
Modelo	Unidade	SIVE 200	SIVE 250	SIVE 300	SIVE 350
Capacidade nominal	TR	20	25	30	35
Tensão de alimentação	Volts	220/380 ou 440 V			
Fase	Trifásico 3F				
Frequência	Hz	60			
Refrigerante	R-407C				
Dimensões C x P x A	m	1,88 x 0,85x2	1,88 x 0,85x2	2,40 x 0,98x2	2,40 x 0,98x2
Peso	kg	600	668	800	860

Fonte: Adaptado TRANE (2016).

Os aspectos elétricos da máquina e seus componentes demonstram que ela pode ser instalada em local urbano com características elétricas comuns, podendo ser utilizada no 220V ou com um projeto elétrico mais elaborado em 380V ou 440V ficando a escolha do solicitante segundo o site da TRANE.

Com estes dados é possível mostrar a robustez da máquina escolhida juntamente com suas outras versões para atender de acordo com a necessidade do solicitante. As principais informações sobre a parte elétrica estão presentes na tabela, demonstrando que é possível realizar sua instalação em área residencial.

O gás utilizado pela máquina é o R-407C que é uma mistura de três fluidos refrigerantes à base de hidrofluorcarbono (HFC) já muito utilizado na indústria por não degradar a camada de ozônio ao contrário do antigo e não mais utilizado R22. O fluido em questão é amplamente utilizado em equipamentos de refrigeração doméstica e comercial.

As suas dimensões com aproximadamente 2 metros de altura e 1,88 de largura deixam bem evidentes a robustez que este equipamento possui. O seu peso está em torno de 668 Kg estando fora equipamentos que acompanham como está descrito no manual da TRANE (2016), essas informações sobre a máquina e suas particularidades fazem ser necessário ela ter um lugar apropriado.

O equipamento da Trane escolhido tem uma vazão estimada em  $10,800 \text{ m}^3/\text{h}$  sendo está a vazão mínima. Percebeu-se que no templo religioso IEQVP foi encontrada a parcela de vazão eficaz que é o valor de ar que deve ser renovado no ambiente para que não ocorra nenhum tipo de contaminação o excesso de gás carbônico. A vazão eficaz da igreja foi de  $4413,6 \text{ m}^3/\text{h}$ , chegando ao valor de aproximadamente 2,5 ciclos que é o quanto de ar é renovado por hora no recinto.

Vale ressaltar, que é necessário levar em consideração características a respeito da localização da *self contained* para que o funcionamento aconteça da melhor forma possível evitando possíveis problemas e transtornos.

#### 4.3.2 Localização e considerações feitas para a *self contained*

Sabe-se que o perímetro da área do templo é bastante amplo, sendo possível obter diferentes posições para a máquina nos variados espaços. A localização da máquina deve ser definida para que ela fique do lado de fora da igreja, dessa maneira pode-se ter um local com seu acesso restrito com um controle de indivíduos que tem acesso. Um sistema independente para sua alimentação de sua energia deve ser realizado para que as instalações de componentes e manutenções não prejudiquem as cerimônias caso ocorra paradas programadas.

Segundo a norma NBR 16401-1 (2008) deve ocorrer uma localização preliminar da casa de máquinas e seus equipamentos para se obter uma definição de suas instalações. Em virtude disso, a máquina deverá estar localizada na parte de trás da IEQVP (Figura 40), na posição Norte em relação ao terreno. Para que ocorra essa instalação é necessário a edificação da casa de máquinas com estrutura de alvenaria para comportar a máquina e seus componentes, para que não fiquem expostos as intempéries como sol, chuva entre outros.

**Figura 40. Localização da casa de máquinas da *self contained***



Fonte: Autoria própria (2022).

Levou-se em consideração esta área pois ela possui facilidade no acesso a rede elétrica desta maneira podendo ser montado um sistema exclusivo para a máquina e seus equipamentos. Além disso, este espaço possibilita que os ruídos causados pela execução de atividades sejam minimizados pois sua localização é fora do templo possuindo uma grande distância até mesmo de outros prédios locais.

Caso haja a necessidade de fazer correções na estrutura da casa de máquinas para um melhor desempenho das atividades da *self contained* pode ser realizado sem ter um impacto na arquitetura do salão do templo tornando sua estrutura um local adaptável na questão de passagem de calores gerados em seu funcionamento. Podem ser feitas aberturas laterais e considerar que possua espaços entre teto e parede para auxiliar na saída de calores fazendo que o local seja bem ventilado.

O peso da máquina é relativamente alto, sendo assim, uma estrutura própria para fixar e até mesmo aumenta o nível de altura da máquina se necessário pode ser feito, além disso outro fator que torna importante a edificação de uma casa de máquinas é que sua estrutura de porte grande pode ocasionar fraturas com o passar do tempo no local onde é instalada não sendo viável para o salão do templo o qual, não foi construído para receber pesos dessa magnitude.

Na Figura 41 é possível ver um exemplo de *self contained* da TRANE instalada pela empresa W ventiladores fora do local a ser climatizado em uma casa de máquinas própria.

**Figura 41. *Self contained* instalada na casa de máquinas**



Fonte: W VENTILADORES (2022).

Outras recomendações podem ser feitas pelo fabricante ou empresa que fará a instalação devem ser protocoladas ao projeto final de execução, para que a utilização da máquina ocorra da melhor forma possível.

### **4.3.3 Levantamento de custos**

O levantamento de custos é um dos principais fatores para implantação de um sistema de climatização de um local. Através da estimativa do valor de equipamento selecionado e acessórios e que se pode comparar com outros tipos de aparelhos de climatização que podem ser instalados no local, cabe destacar que a manutenção dos sistemas é o custo que sempre deve ser calculado para que o aparelho se torne viável.

Segundo Creder (2004), os dutos representam o custo médio de 25% de toda a instalação. No mercado a maioria das empresas que fazem a fabricação e instalação de dutos metálicos trabalham somente com grandes demandas e empresas certificadas e regularizadas. No Brasil, alguns sites fazem a simulação de custos médios para essas tubulações já com custos de instalação e algumas certificações conhecidas no mercado.

No site Brasil gerador de preços, as tubulações metálicas tem seus valores simulados por m<sup>2</sup> instalado, já contabilizando acessórios, mão de obra e certificações. Em algumas simulações o preço do duto de menor espessura com 0,6 mm é estimado em R\$ 125,30 reais por m<sup>2</sup>. Já o que possui 1,5 mm tem seu valor contabilizado em R\$ 190,30 reais o metro quadrado, dessa forma, ficando a critério do empregador responsável pelo templo a decisão da instalação do sistema.

A self contained com capacidade de 25 TR teve seu valor encontrado em alguns sites com valores unitários que cotam aproximadamente R\$ 39.000 reais uma unidade semelhante com todos os acessórios inclusos. A casa de máquinas e obras referentes a engenharia civil, variam de acordo com a região, material empregado e empresa escolhida não sendo possível estimar valores, ficando a critério do empregador selecionar a que mais se assemelha as suas necessidades.

## 5 CONCLUSÃO

Portanto, o estudo conseguiu realizar a quantificação da carga térmica no templo através da norma selecionada NBR 16655-3 (2019) que disponibilizou a metodologia necessária para se alcançar os valores. Logo em seguida foi realizado o dimensionamento de dutos no local, os quais, são responsáveis por levar o ar da *self contained* selecionada para os locais pré determinados no projeto.

Após os resultados apresentados da carga térmica, foi possível observar os valores encontrados individualmente das parcelas que depois foram somadas e obteve-se o valor de 21,90 TR. Muitos itens de sua estrutura não pertencentes a NBR 16655-3 (2019), tiveram que ser adaptados por outras normas como a NBR 15220 (2005) que foram as estruturas como a da parede, teto entre outras.

Este fato acontece por muitas das vezes os locais a serem climatizados já obterem toda sua arquitetura finalizada, a qual não foi planejada para que em seu interior possa ser instalado um sistema de condicionamento de ar. Logo, é papel fundamental em um projeto contornar os as dificuldades estruturais do local e atender ao conforto térmico dos indivíduos presentes da melhor forma possível sempre dentro das recomendações da norma utilizada.

Os sistemas de dutos tiveram o auxílio da norma NBR 16401-1 (2008) juntamente com literaturas de maioria estrangeira que puderam dar o devido suporte para que fosse alcançado os resultados. Para este projeto foi escolhido o método da velocidade, que é simples se comparado a utilização de outros métodos e softwares que são empregados na indústria de climatização, mostrando que a partir de uma normatização adequada é possível realizar qualquer projeto.

A utilização de manuais e associações de fabricantes como da SMACNA tornam os valores confiáveis e com a certeza de que dentro do mercado possam ser encontrados. Todo o sistema de dutos e acessórios utilizados tiveram seus posicionamentos e valores devidamente selecionados para o templo, elementos como boca difusora, ângulo de ramais secundários que influenciaram na perda de carga foram levados em consideração.

A *self contained* possui muitas facilidades em sua instalação e utilização sendo um aparelho já bem conhecido e recomendado no mercado por suas qualidades. Seu funcionamento acontece com os princípios de qualquer condicionador de ar tornando-se fácil e pratico seu uso e manutenção. Ademais, sua capacidade de refrigerar mostrou-se eficaz para o local tendo a capacidade de 25TR, sendo mais que satisfeita o conforto dos indivíduos presentes.

O templo IEQVP tem suas particularidades, pois ele possui diferentes elementos em sua arquitetura, os quais seriam encontrados em um ambiente comercial ou uma residência comum sendo mais semelhante a um auditório ou teatro. Portanto, levou-se isso em consideração em seu estudo para que sua carga térmica e condicionamento de ar fosse o mais fiel a suas reais condições.

Cabe ressaltar, a importância deste estudo em qualquer local que se deseja climatizar pois através dele pode-se evitar um superdimensionamento de aparelhos o que acaba por gerar gastos com equipamentos e manutenção desnecessárias. A forma de projetar um sistema de dutos além de utilizar normatizações recomendadas deve contar com a coleta de informações e experiência do projetista para atender os problemas que cada local com suas particularidades enfrenta da melhor forma possível, sempre visando promover um estudo de engenharia de qualidade.

## 5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros seguem algumas recomendações:

- Realizar o cálculo do dimensionamento de dutos através do método da igual perda de carga que está presente na norma NBR 16401-1 (2008);
- Fazer um estudo de seleção de materiais dos dutos para que dessa forma seja empregado o material mais viável possível para o local;
- Avaliação de conforto térmico no local com a utilização de equipamentos específicos para a coleta de informações mais precisas;
- Produzir um projeto de viabilidade econômica acerca dos materiais e máquinas utilizadas com custo de compra e manutenção dos equipamentos;
- Verificar outros equipamentos de condicionamento de ar melhores que a *self contained* utilizada.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Lucas Duarte de. **Eficiência energética aplicada à instituição religiosa no município de Mossoró-RN**. 2019. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Elétrica) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Caraúbas, 2019.

ALVAREZ, Mario Eusebio Torres. **Refrigeração, ar condicionado e ventilação**. Londrina: Educacional S.A., 2019. 232 p.

ARQUITETURA E COTIDIANO. **A ventilação cruzada – Uma técnica excelente para aproveitar a ventilação natural**. 2015. Disponível em: <<https://www.vaicomtudo.com/como-aproveitar-ventilacao-natural-projeto-de-casa.html>>. Acesso em: 05 abr. 2022.

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Handbook - Fundamentals**. SI edition. Atlanta, GA: ASHRAE, 2013. 1134 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro, ABNT, 2005. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, ABNT, 2005. 38 p.

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. 66 p.

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**. Rio de Janeiro, ABNT, 2019. 30 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6401: Instalações centrais de ar condicionado para conforto – Parâmetros básicos de projeto**. Rio de Janeiro, ABNT, 1980. 18 p.

BRASIL GERADOR DE PREÇOS. **Software para Engenharia e Construção**. Disponível em:

<[http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra\\_nova/Instalacoes/IC\\_Aquecimento\\_\\_climatizacao\\_e\\_ag/Sistemas\\_de\\_conducao\\_de\\_ar/Duto\\_de\\_chapa\\_galvanizada\\_0\\_0\\_0\\_1\\_4\\_1.html#gs.c.tab=0](http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/Instalacoes/IC_Aquecimento__climatizacao_e_ag/Sistemas_de_conducao_de_ar/Duto_de_chapa_galvanizada_0_0_0_1_4_1.html#gs.c.tab=0)>. Acesso em: 16 jun. 2022.

BRAVENT. **Ventilação natural**. Disponível em: <<https://bravent.com.br/lanternim/service-view/ventilacao-natural/>>. Acesso em: 29 mar. 2022.

CARVALHO, Ricardo. Apostila **Sistemas de ar-condicionado e carga térmica**. Itajauba-Paraná :Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná,2005. 80 p.

CA2. **Benefícios e técnicas de ventilação natural.** Disponível em: <<https://ca-2.com/ventilacao-natural/>>. Acesso em: 28 mar. 2022.

CLIMABRISA. **Entenda a importância da renovação de ar no ambiente.** Disponível em: <<https://blog.climabrisa.com.br/entenda-a-importancia-da-renovacao-de-ar-no-ambiente/>>. Acesso em: 29 mar. 2022.

CONVERTLIVE. **Conversor de unidade.** Disponível em: <https://convertlive.com/pt/converter>>. Acesso em: 29 jan. 2022.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar condicionado.** 6 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2004.

COSTA, Thiago Barroso. **AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DE UM ESCRITÓRIO LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ/PA COM BASE NA NORMA ABNT NBR 16401-2.** 2021. TCC Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará. Tucuruí, 2021.

ECOPORE ADVANCED SOLUTIONS. **Ciência da construção.** Disponível em: <<https://www.ecopore.com.br/ciencia-da-construcao/>>. Acesso em: 28 mar. 2022.

ESPIRODUTOS DUTOS E VENTILADORES INDUSTRIAIS. **Duto oval.** Disponível em: <<https://espirodutos.com.br/copia-produtos-1/>>. Acesso em: 02 abr. 2022.

FERRAZ, Fábio. **Apostila de refrigeração.** Santo Amaro – BA: Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia, 2008. 74 p.

FERREIRA, Francleison Policarpio. **Cálculo da carga térmica e dimensionamento de sistema de condicionamento de ar para conforto térmico, e comparação com quatro métodos de cálculo de carga térmica.** 2013. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2013.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo.** 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 243 p.

GOMES, Stéphanie Murta. **Estudo da carga térmica e reset setpoint do sistema de condicionamento de ar em edificação pública baseado nos parâmetros externos.** 2019. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Energia) - Universidade de Brasília Faculdade do Gama, Brasília, 2019.

GOOGLE EARTH. **Google Earth website.** Disponível em: <[https://earth.google.com/web/search/Tucuru%c3%ad,+PA/@-3.82962571,-49.67219557,111.54340706a,1252.7225448d,35y,76.09387048h,56.51706369t,0r/data=CigiJgokCRAIx7Qi-BxAEZgmd1Jj3k\\_AGW41AedVXSPAIQh-HIDyvmPA](https://earth.google.com/web/search/Tucuru%c3%ad,+PA/@-3.82962571,-49.67219557,111.54340706a,1252.7225448d,35y,76.09387048h,56.51706369t,0r/data=CigiJgokCRAIx7Qi-BxAEZgmd1Jj3k_AGW41AedVXSPAIQh-HIDyvmPA)>. Acesso em: 12 jan. 2022.

HEAT COLD SISTEMAS ELETROMECÂNICOS. **Dutos para ar condicionado.** Disponível em: <<https://heatcold.com.br/dutos-para-ar-condicionado/>>. Acesso em: 29 mar. 2022.

**HIPERFRIO. Materiais para Refrigeração e Ar-Condicionado: Gás Freon R407 ou R22 por KG.** Disponível em: < <https://hiperfrio.com.br/shop/materiais-para-refrigeracao-e-ar-condicionado/gas-freon-r407-ou-r22/>>. Acesso em: 23 mar. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência - Censo Demográfico - Censo 2010.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=evangelicos>>. Acesso em: 05 abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico Tabela 137 - População residente, por religião.** Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/137>>. Acesso em: 05 abr. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY INITIATIVE BRASIL (IEI BRASIL). **Você sabe escolher lâmpadas? Parte 1 – tipos de lâmpadas.** Disponível em: <[https://iei-brasil.org/2019/09/24/tipos-de-lampadas/?gclid=Cj0KCQjw4PKTBhD8ARIsAHChzRKcp6nNhbzkgVa-cGOEnuJC7gKTP\\_uOmGvjAUAyjVzVbYGKzMdQj2caAqwUEALw\\_wcB](https://iei-brasil.org/2019/09/24/tipos-de-lampadas/?gclid=Cj0KCQjw4PKTBhD8ARIsAHChzRKcp6nNhbzkgVa-cGOEnuJC7gKTP_uOmGvjAUAyjVzVbYGKzMdQj2caAqwUEALw_wcB)>. Acesso em: 20 mar. 2022.

LABORSEGUR. **Sistemas de Ventilação e Ar Condicionado.** Disponível em: <<https://laborsegur.com/2020/05/20/ventilacao-e-ar-condicionado/>>. Acesso em: 29 mar. 2022.

LAMBERTS, Roberto.; DUTRA, Luciano.; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura.** 3 ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás Procel, 2014. 382 p.

MATOS, Rudmar Serafim. **Climatização.** Paraná: Universidade Federal do Paraná, setor de tecnologia, 2010. 133 p.

MACHADO, Alexsander Reis, **Projeto de climatização e avaliação da eficiência energética de um escritório comercial.** 2017. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

MENEZES, Milton Serpa. **Refrigeração e ar condicionado.** Rio Grande do Sul: Faculdade de Engenharia e Arquitetura (UPF), 2005. 122 p.

MORAN, Michael J *et al.* **Princípios de termodinâmica para engenharia.** 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. 947 p.

POWERMATIC. **Dutos circulares.** Disponível em: < <https://powermatic.com.br/produtos/dutos-circulares/>>. Acesso em: 02 abr. 2022.

POWERMATIC. **Dutos retangulares TDC.** Disponível em: < <https://powermatic.com.br/produtos/dutos-retangulares-tdc/>>. Acesso em: 02 abr. 2022.

PROJETANDO EDIFICAÇÕES ENERGETICAMENTE EFICIENTES (PROJETEEEE). **Ventilação natural.** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/projeteeee/estrategia/ventilacao-natural/>>. Acesso em: 28 mar. 2022.

ROSA, Douglas Eduardo. **Projeto básico do sistema de ar condicionado central e ventilação mecânica do novo restaurante universitário do CEFET/RJ**. 2018. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2018.

SILVA, Jesué Graciliano da. **Exemplo de sistema de ar condicionado central com rede de distribuição de ar e dutos de retorno**. Disponível em: <<https://jesuegraciliano.wordpress.com/rac-capacitacao/covid19/>>. Acesso em: 02 abr. 2022.

SILVA, Luana Freire da. **Dimensionamento de um sistema de dutos para um sistema de ventilação local exaustora em galvanoplastia**. 2009. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SMACNA. **HVAC systems duct design**. 3rd ed. USA: Sheet Metal and Air Conditioning Contractors Nat. Assoc., 1990. 340 p.

SOUZA, Letícia de Carvalho de. **Estudo de caso referente à análise de carga térmica e dimensionamento de equipamentos de ar condicionados da igreja Nossa Senhora da Conceição Tucuruí-PA**. 2013. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2013.

STOECKER, Wilbert F.; JONES, Jerold W. **Refrigeração e ar condicionado**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985. 482 p.

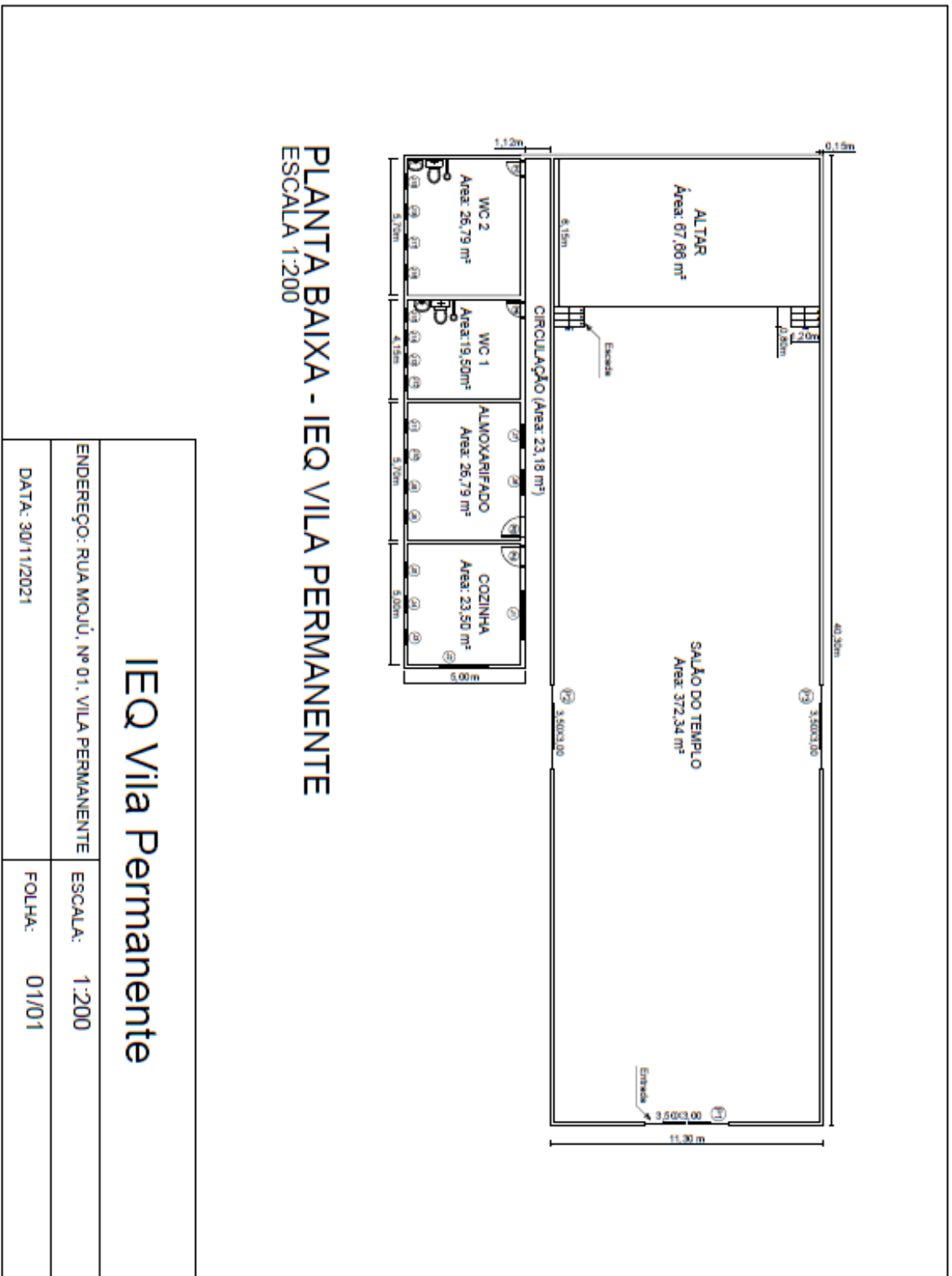
TRANE. **Self Contained Diamond – Catálogo de produtos**. Disponível em: <[https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/lar/br/produtos-sistemas/equipamentos/Unitarios/Self\\_Containeds/Diamond/PKG-PRC002F-PT%200116.pdf](https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/lar/br/produtos-sistemas/equipamentos/Unitarios/Self_Containeds/Diamond/PKG-PRC002F-PT%200116.pdf)>. Acesso em: 23 mar. 2022.

W VENTILADORES. **Ar Condicionado Central: sistemas de climatização em salas elétricas, CCM & casa de força**. Disponível em: <<https://www.wvent.com.br/ar-condicionado-central.php>>. Acesso em: 23 mar. 2022.

WANG, Shan Kuo. **Handbook of air conditioning and refrigeration**. 2nd ed. USA: McGraw-Hill, 2001. 1401 p.

ZYLBERKAN, Mariana. **Evangélicos devem ultrapassar católicos no Brasil a partir de 2032**. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/brasil/evangelicos-devem-ultrapassar-catolicos-no-brasil-a-partir-de-2032/>>. Acesso em: 05 abr. 2022.

APÊNDICE A - Planta Baixa completa do local em 2D



ANEXO A - Tabela Calor cedido ao ambiente (W), segundo a atividade desenvolvida pelo indivíduo

<b>Atividade</b>	<b>Calor Metabólico</b>	<b>Calor Sensível</b>	<b>Calor Latente</b>
durante o sono (basal)	80	40	40
sentado, em repouso	115	63	52
em pé, em repouso	120	63	57
sentado, cosendo à mão	130	65	65
escritório (atividade moderada)	140	65	75
em pé, trabalho leve	145	65	80
datilografando rápido	160	65	95
lavando pratos	175	65	110
confeccionando calçados	190	65	125
andando	220	75	145
trabalho leve, em bancada	255	80	175
garçom	290	95	195
descendo escada	420	140	280
serrando madeira	520	175	345
nadando	580	—	—
subindo escada	1280	—	—
esforço máximo	870 a 1400	—	—

Fonte: Frota e Schiffer (2001).

ANEXO B - Velocidades recomendadas e máximas para dutos de ar e equipamentos de sistemas de baixa pressão

Designação	Recomendadas (m/s)			Máximas (m/s)			
	Residências	Escolas, teatros e edifícios públicos	Prédios industriais	Residências	Escolas, teatros e edifícios públicos	Prédios industriais	
Tomadas de ar exterior <sup>(A)</sup>	2,50	2,50	2,50	4,00	4,50	6,00	
Serpentinas(1)	Resfriamento	2,25	2,50	3,00	2,25	2,50	3,60
	Aquecimento	2,25	2,50	3,00	2,50	3,00	7,50
Lavadores de ar	- Borrifador	2,50	2,50	2,50	3,50	3,50	3,50
	- alta velocidade	-	-	9,00	-	-	9,00
Descarga do ventilador	mín.	5,00	6,50	8,00	-	-	-
	máx.	8,00	10,00	12,00	8,50	11,00	14,00
Dutos principais	mín.	3,50	5,00	6,00	-	-	-
	máx.	4,50	6,50	9,00	6,00	8,00	10,00
Ramais horizontais	mín.	-	3,00	4,00	-	-	-
	máx.	3,00	4,50	5,00	5,00	6,50	9,00
Ramais verticais	mín.	-	3,00	-	-	-	-
	máx.	2,50	3,50	4,00	4,00	6,00	8,00

Fonte: NBR 16401-1 (2008).

ANEXO C - Tabela. relação entre o diâmetro hidráulico circular e a seção retangular correspondente

Dimensions in mm

Side Rectangular Duct	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	Side Rectangular Duct	
100	109																					100
125	122	137																				125
150	133	150	164																			150
175	143	161	177	191																		175
200	152	172	189	204	219																	200
225	161	181	200	216	232	246																225
250	169	190	210	228	244	259	273															250
275	176	199	220	238	256	272	287	301														275
300	183	207	229	248	266	283	299	314	328													300
350	195	222	245	267	286	305	322	339	354	383												350
400	207	235	260	283	305	325	343	361	378	409	437											400
450	217	247	274	299	321	343	363	382	400	433	464	492										450
500	227	258	287	313	337	360	381	401	420	455	488	518	547									500
550	236	269	299	326	352	375	398	419	439	477	511	543	573	601								550
600	245	279	310	339	365	390	414	436	457	496	533	567	598	628	656							600
650	253	289	321	351	378	404	429	452	474	515	553	589	622	653	683	711						650
700	261	298	331	362	391	418	443	467	490	533	573	610	644	677	708	737	765					700
750	268	306	341	373	402	430	457	482	506	550	592	630	666	700	732	763	792	820				750
800	275	314	350	383	414	442	470	496	520	567	609	649	687	722	755	787	818	847	875			800
900	289	330	367	402	435	465	494	522	548	597	643	686	726	763	799	833	866	897	927	984		900
1000	301	344	384	420	454	486	517	548	574	626	674	719	762	802	840	876	911	944	976	1037		1000
1100	313	358	399	437	473	506	538	569	598	652	703	751	795	838	878	916	953	988	1022	1086		1100
1200	324	370	413	453	490	525	558	590	620	677	731	780	827	872	914	954	993	1030	1066	1133		1200
1300	334	382	426	468	506	543	577	610	642	701	757	808	857	904	948	990	1031	1069	1107	1177		1300
1400	344	394	439	482	522	559	595	629	662	724	781	835	886	934	980	1024	1066	1107	1146	1220		1400
1500	353	404	452	495	536	575	612	648	681	745	805	860	913	963	1011	1057	1100	1143	1183	1260		1500
1600	362	415	463	508	551	591	629	665	700	766	827	885	939	991	1041	1088	1133	1177	1219	1298		1600
1700	371	425	475	521	564	605	644	682	718	785	849	908	964	1018	1069	1118	1164	1209	1253	1335		1700
1800	379	434	485	533	577	619	660	698	735	804	869	930	988	1043	1096	1146	1195	1241	1286	1371		1800
1900	387	444	496	544	590	633	674	713	751	823	889	952	1012	1068	1122	1174	1224	1271	1318	1405		1900
2000	395	453	506	555	602	646	688	728	767	840	908	973	1034	1092	1147	1200	1252	1301	1348	1438		2000
2100	402	461	516	566	614	659	702	743	782	857	927	993	1055	1115	1172	1226	1279	1329	1378	1470		2100
2200	410	470	525	577	625	671	715	757	797	874	945	1013	1076	1137	1195	1251	1305	1356	1406	1501		2200
2300	417	478	534	587	636	683	728	771	812	890	963	1031	1097	1159	1218	1275	1330	1383	1434	1532		2300
2400	424	486	543	597	647	695	740	784	826	905	980	1050	1116	1180	1241	1299	1355	1409	1461	1561		2400
2500	430	494	552	606	658	706	753	797	840	920	996	1068	1136	1200	1262	1322	1379	1434	1488	1589		2500
2600	437	501	560	616	668	717	764	810	853	935	1012	1085	1154	1220	1283	1344	1402	1459	1513	1617		2600
2700	443	509	569	625	678	728	776	822	866	950	1028	1102	1173	1240	1304	1366	1425	1483	1538	1644		2700
2800	450	516	577	634	688	738	787	834	879	964	1043	1119	1190	1259	1324	1387	1447	1506	1562	1670		2800
2900	456	523	585	643	697	749	798	845	891	977	1058	1135	1208	1277	1344	1408	1469	1529	1586	1696		2900
Side Rectangular Duct	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	Side Rectangular Duct	

Fonte: SMACNA (1990).