



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**PROJETO DE CARGA TÉRMICA DA BIBLIOTECA DO NOVO PRÉDIO DA UFPA  
CAMPUS DE TUCURUÍ COM BASE NA NBR16655:2019**

**VINÍCIUS DA SILVA SERRÃO**

**Tucuruí – PA  
2022**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**PROJETO DE CARGA TÉRMICA DA BIBLIOTECA DO NOVO PRÉDIO DA UFPA  
CAMPUS DE TUCURUÍ COM BASE NA NBR16655:2019**

**VINÍCIUS DA SILVA SERRÃO**

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. Me. Maciel da Costa Furtado**

**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)**

---

- S487p Serrão, Vinícius da Silva.  
PROJETO DE CARGA TÉRMICA DA BIBLIOTECA DO  
NOVO PRÉDIO DA UFPA CAMPUS DE TUCURUÍ COM  
BASE NA NBR16655:2019 / Vinícius da Silva Serrão. — 2022.  
59 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Me. Maciel da Costa Furtado  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade  
Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de  
Engenharia Mecânica, Tucuruí, 2022.
1. ABNT NBR 16655:2019. 2. Ar-condicionado. 3.  
Biblioteca. 4. Carga térmica. 5. Projeto de climatização. I.  
Título.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**PROJETO DE CARGA TÉRMICA DA BIBLIOTECA DO NOVO PRÉDIO DA UFPA  
CAMPUS DE TUCURUÍ COM BASE NA NBR16655:2019**

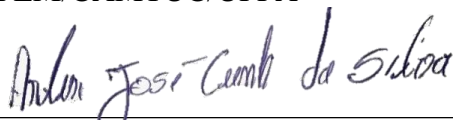
VINÍCIUS DA SILVA SERRÃO

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.

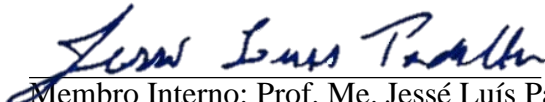
**BANCA EXAMINADORA**



Orientador: Prof. Me. Maciel da Costa Furtado  
FEM/CAMTUC/UFPA



Membro Externo (coorientador): Eng. Instr. Artur José Cunha da Silva  
SENAI



Membro Interno: Prof. Me. Jessé Luís Padilha  
FEM/CAMTUC/UFPA

**Conceito: Excelente**

**Tucuruí, 04 de fevereiro de 2022.**

*“Aproveite tudo ao seu redor, antes que os momentos se tornem memórias”  
(Mestre Jiraiya)*

## AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente por me permitir chegar até esse momento, e me proporcionar saúde e forças para atingir meus objetivos.

Aos meus pais José Emerson e Edilene Serrão que sempre me incentivaram, aconselharam e torceram juntos para realização desse meu sonho.

Quero agradecer imensamente a duas pessoas que perdi durante a formação de curso, mas que foram de extrema importância na minha vida não só acadêmica, mas sim como uma pessoa melhor, são elas: a minha avó Maria Zolima e meu amigo João Everaldo (Coquinho).

Quero agradecer também pelo apoio moral e carinho do meu irmão Emerson Braga e minha namorada Marceli Tavares.

Aos meus padrinhos e tios, Jederson Braga, Suzilene Braga, Neto Braga, Leide Braga, Jesus Padilha, Júnior Braga, Pilar Carneiro e Edinilza Serrão, Odineia Silva.

Aos meus amigos, principalmente Luiz Fernando, Francisco Neto, João Marcus, Maycon Magalhães, Hemerson Conceição, Luíz Gustavo (Xito), Arthur Fontana, Mayke Silva, Flávio Júnior, Andressa Silva, Murilo Moreira, Índio e Dalva que sempre se preocuparam e me apoiaram nos estudos.

Aos docentes da Faculdade que tive aula durante o curso em especial Walter Souza, André Mesquita, Douglas Garcia, Arthur Cunha, Jessé Padilha e Maciel Furtado que ajudaram e contribuíram para que eu adquirisse um maior conhecimento durante esse período de graduação.

A UFPA/CAMTUC, pela oportunidade de fazer o curso com uma boa estrutura e um time de funcionários ótimos. Aos grupos BAJA, Motores e FluidPar no qual sou muito grato por ter feito parte dessas equipes, pois aprendi muitas coisas, principalmente o verdadeiro significado das palavras união. Aos meus amigos e colegas da faculdade, na qual compartilhamos vários momentos e aprendizagens durante esses cinco anos de estudo que levarei comigo para sempre. Quero deixar meus sinceros agradecimentos a todos que de alguma maneira, seja diretamente ou indiretamente, me ajudaram durante essa caminhada.

## **PROJETO DE CARGA TÉRMICA DA BIBLIOTECA DO NOVO PRÉDIO DA UFPA CAMPUS DE TUCURUÍ COM BASE NA NBR16655:2019**

### **RESUMO**

*Tendo em vista os elevados custos atuais e a busca pela redução do consumo de energia elétrica são de suma importância um bom projeto de climatização, pois garante um dimensionamento adequado dos aparelhos de climatização e além disso, atende todas as exigências não só do projeto, mas também do cliente de forma confiável e eficiente. Através desse conforto térmico proporcionado, o ambiente se torna mais agradável e as pessoas podem desempenhar suas atividades de maneira mais produtiva. Este trabalho tem como objetivo apresentar o dimensionamento de carga térmica na Biblioteca que se encontra na nova UFPA situada na cidade de Tucuruí, no estado do Pará. Esta biblioteca possui uma área total de 274,59 m<sup>2</sup> e a capacidade máxima de ocupação de 77 ocupantes. Esse projeto foi executado seguindo as diretrizes da norma ABNT NBR 16655: 2019. Nos cálculos foram considerados todas as formas de transferências de calor tais como: a transmissão de calor por superfície opacas, o ganho de calor por insolação, a carga térmica por renovação, infiltração de ar, carga interna pelas pessoas, iluminação e equipamentos. A carga térmica total obtida foi de 198.317,77 BTU e diante dos resultados obtidos no cálculo do fluxo total de calor para o ambiente em estudo, concluiu-se que a maior parte do ganho térmico se dá pela transmissão de calor por superfície opacas. Com base nesses resultados foram selecionados 11 aparelhos de ar condicionado Split Inverter distribuídos em cada recinto da biblioteca com o propósito de garantir o conforto térmico no local de estudo.*

**Palavras-chave:** ABNT NBR16655:2019. Ar-condicionado. Biblioteca. Carga térmica. Projeto de climatização.

## **THERMAL LOADING PROJECT OF THE LIBRARY OF THE NEW BUILDING OF UFPA CAMPUS OF TUCURUÍ BASED ON NBR16655:2019**

### **ABSTRACT**

*In view of the current high costs and the search for reducing electricity consumption, a good air conditioning project is of paramount importance, as it ensures an adequate dimensioning of the air conditioning appliances and, in addition, it meets all the requirements not only of the project, but customer service reliably and efficiently. Through this thermal comfort provided, the environment becomes more pleasant and people can perform their activities more productively. This work aims to present the thermal load sizing in the Library located in the new UFPA located in the city of Tucuruí, in the state of Pará. This library has a total area of 274.59 m<sup>2</sup> and a maximum occupancy capacity of 77 occupants. This project was carried out following the guidelines of the ABNT NBR 16655: 2019 standard. The calculations considered all forms of heat transfer, such as: heat transmission by opaque surfaces, heat gain by insolation, thermal load by renovation, air infiltration, internal load by people, lighting and equipment. The total thermal load obtained was 198,317.77 BTU and, considering the results obtained in the calculation of the total heat flux for the environment under study, it was concluded that most of the thermal gain is due to heat transmission by opaque surfaces. Based on these results, 11 Split Inverter air conditioners were selected and distributed in each room of the library with the purpose of ensuring thermal comfort in the study site.*

**Keywords:** *ABNT NBR16655:2019. Air conditioning. Climatization project. Library. Thermal load.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Transmissão de calor por condução. ....	20
Figura 2. Carga térmica por insolação. ....	24
Figura 3. Carga térmica por infiltração de ar. ....	27
Figura 4. Carga térmica liberada pelo individuo em função da sua atividade. ....	29
Figura 5. Carga térmica liberada por equipamentos eletrônicos. ....	31
Figura 6. Carga térmica da iluminação. ....	32
Figura 7. Metodologia utilizada no trabalho. ....	34
Figura 8. Localização por satélite da nova UFPA na cidade de Tucuruí-PA. ....	35
Figura 9. Nova UFPA localizado na cidade de Tucuruí-PA. ....	35
Figura 10. Area de acesso comum da biblioteca ....	36
Figura 11. Sala dos técnicos e sala de estudo 01, 02 e 03 da biblioteca. ....	36
Figura 12. Bibliotecário e almoxarifado da biblioteca ....	36
Figura 13. Sala de estudo amplo da biblioteca ....	37
Figura 14. Planta baixa da biblioteca da UFPA. ....	37
Figura 15. Representação percentual corresponde a carga térmica total em cada recinto da biblioteca ....	48
Figura 16. Carga térmica da Área de Acesso Comum em Watts. ....	50
Figura 17. Carga térmica dos recintos menores em Watts. ....	50
Figura 18. Ar condicionado Split LG Dual Inverter Voice Frio 12.000 BTU - 220V. ....	53
Figura 19. Ar Condicionado Split Hw Dual Inverter Voice LG 18000 BTU Frio 220V Monofásico. ....	53
Figura 20. Ar Condicionado Split Hi Wall Inverter 36.000 BTU Frio 220V. ....	53
Figura 21. Projeto da rede de ar condicionado da biblioteca. ....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coeficientes de transmissão de calor por condução através de superfícies opacas (paredes, pisos, lajes e telhados).....	21
Tabela 2. Coeficientes de transmissão de calor por condução através de piso, parede interna e janelas. ....	21
Tabela 3. Diferença de temperatura para a carga de resfriamento CLTD, corrigida às 16 h. ..	22
Tabela 4. Fator de ganho de calor por insolação SHGF em W/m <sup>2</sup> . ....	24
Tabela 5. Carga de insolação – Fator de carga de resfriamento às 16 h. ....	25
Tabela 6. Coeficientes de sombreamento (adimensional) para películas protetoras e sombreamento interno (cortinas). ....	26
Tabela 7. Condições de temperatura e umidade do ar externo para o verão. ....	28
Tabela 8. Condições das temperaturas internas de referência para o verão. ....	29
Tabela 9. Carga térmica interna das pessoas em função da atividade .....	30
Tabela 10. Carga térmica interna em função de equipamentos. ....	31
Tabela 11. Carga térmica interna em função de iluminação. ....	32
Tabela 12. Dimensões relacionada à área das salas de estudos 01, 02 e 03 e da sala dos técnicos. ....	38
Tabela 13. Dimensões relacionada à área da sala de estudo amplo.....	38
Tabela 14. Dimensões relacionada à área do almoxarifado. ....	38
Tabela 15. Dimensões relacionada à área do Bibliotecário. ....	38
Tabela 16. Dimensões relacionada à área de acesso comum da biblioteca.....	39
Tabela 17. Dados de resistividade térmica e CLTD. ....	40
Tabela 18. Dados do SHGF, CLF e SC .....	40
Tabela 19. Dados para entalpia de ar externo e ar interno.....	41
Tabela 20. Quantidade de pessoas por recinto.....	41
Tabela 21. Dados para atividades das pessoas sentadas e CLF .....	42
Tabela 22. Quantidade de computadores desktop por recinto. ....	42
Tabela 23. Dados do valor da potência de um computador desktop e CLF .....	43
Tabela 24. Dados da potência específica instalada e o CLF.....	43
Tabela 25. Quantidade de lâmpadas por recinto.....	43
Tabela 26. Transferência de calor por superfícies opacas para cada recinto. ....	44
Tabela 27. Transferência de calor por insolação para cada recinto. ....	45
Tabela 28. Transferência de calor por infiltração para cada recinto.....	46

Tabela 29. Transferência de calor devido a quantidade de pessoas para cada recinto. ....	47
Tabela 30. Transferência de calor por equipamentos eletrônicos para cada recinto. ....	47
Tabela 31. Transferência de calor por iluminação para cada recinto. ....	48
Tabela 32. Carga térmica total em cada recinto da biblioteca em watts. ....	49
Tabela 33. Conversão da carga térmica total em Watts para BTU.....	49
Tabela 34. Orçamento da aquisição dos equipamentos de ar condicionado. ....	52

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

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 carga de resfriamento)

CLTD - Cooling Load Temperature Differences (Diferença de temperatura da carga de resfriamento)

IEI - International Energy Initiative (Iniciativa Internacional de Energia)

LG - Life's Good (A vida é boa)

NBR - Norma Brasileira

SC - Shading Coefficient (Coeficiente de Sombreamento)

SHGF - Solar Heating Gain factor (Fator de ganho de calor por insolação).

UFPA – Universidade Federal do Pará

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A$  - Área da superfície ( $m^2$ )

$A_j$  - Área da janela ( $m^2$ )

$A_p$  - Área do piso ( $m^2$ )

$BTU$  - Unidade Térmica Britânica

$CLTD_T$  - Diferença de temperatura da carga de resfriamento ( $^{\circ}C$ )

$cS_{ilum}$  - Potência instalada específica ( $W/m^2$ )

$cl_{pessoa}$  - Calor total por pessoa, em função da atividade ( $W/pessoa$ )

$cS_{pessoa}$  - Calor sensível por pessoa em função da atividade ( $W/pessoa$ )

$g$  - Gramas

$h$  - Hora

$h_{ae}$  - Entalpia do ar externo ( $kJ/kg$ )

$h_{amb}$  - Entalpia do ar ambiente ( $kJ/kg$ )

$k$  - Condutibilidade térmica

$kg$  - Quilograma

$kJ$  - Quilo joule

$L$  - Litro

$m$  - Metros

$m^2$  - Metros quadrados

$m^3$  - Metros cúbicos

$mm$  - Milímetros

$m_{ae}$  - Vazão em massa de ar externo ( $kg/s$ )

$n^{\circ}_{pessoas}$  - Número de pessoas (Adimensional)

$P_{Sequip}$  - Potência instalada de equipamentos ( $W$ )

$P_{Silum}$  - Potência instalada de iluminação ( $W$ )

$Q_{ae}$  - Vazão em volume de ar externo ( $m^3/h$ )

$Q_{inf}$  - Vazão de ar externo infiltrado ou de renovação ( $m^3/h$ )

$ql_{pessoas}$  - Calor latente referente a pessoas ( $W$ )

$qS_{equip}$  - Carga sensível de equipamentos ( $W$ )

$qS_{ilum}$  - Carga sensível de iluminação ( $W$ )

$q_{S_{pessoas}}$  - Calor sensível referente as pessoas ( $W$ )

$R$  - Resistividade térmica da superfície ( $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$ )

$R\$$  - Moeda brasileira expressa em reais

$s$  - Segundo

$TBS_p$  - Temperatura de bulbo seco de projeto ( $^\circ C$ )

$TBS_{aem}$  - Temperatura de bulbo seco média do ar externo ao longo do dia ( $^\circ C$ )

$V$  - Volts

$W$  - Watts

$\rho$  - Massa específica do ar ( $kg/m^3$ )

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
<b>2.1.1 Objetivos específicos.....</b>	<b>18</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
3.1 CONFORTO TÉRMICO.....	19
3.2 CARGA TÉRMICA .....	19
<b>3.2.1 Carga térmica por transmissão por superfícies opacas .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.2 Carga térmica por insolação.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.3 Carga térmica por infiltração.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.4 Carga térmica devido às pessoas.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.5 Carga térmica de equipamentos eletrônicos .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.6 Carga térmica da iluminação .....</b>	<b>32</b>
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>34</b>
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO DA BIBLIOTECA DA UFPA .....	34
4.2 CARGA TÉRMICA .....	39
<b>4.2.1 Carga térmica por transmissão por superfícies opacas .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2.2 Carga térmica por insolação.....</b>	<b>40</b>
<b>4.2.3 Carga térmica por infiltração.....</b>	<b>41</b>
<b>4.2.4 Carga térmica devido as pessoas.....</b>	<b>41</b>
<b>4.2.5 Carga térmica de equipamentos eletrônicos .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2.6 Carga térmica de iluminação .....</b>	<b>43</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>44</b>
5.1 CARGA TÉRMICA POR TRANSMISSÃO POR SUPERFÍCIES OPACAS .....	44
5.2 CARGA TÉRMICA POR INSOLAÇÃO .....	45
5.3 CARGA TÉRMICA POR INFILTRAÇÃO.....	46
5.4 CARGA TÉRMICA DEVIDO AS PESSOAS.....	47
5.5 CARGA TÉRMICA POR EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS .....	47
5.6 CARGA TÉRMICA POR ILUMINAÇÃO.....	48
5.7 CARGA TÉRMICA TOTAL .....	48
5.8 SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE AR CONDICIONADO .....	51
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>55</b>

6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	55
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Viana (2017), o condicionador de ar é a aplicação mais difundida da climatização e o conforto térmico humano é um dos principais motivos para instalação dos desses aparelhos conhecidos como “ar-condicionado”. Os sistemas de condicionamento de ar são equipamentos usados para manter um ambiente artificialmente adequado ao conforto térmico, o que inclui o controle da temperatura da umidade e da qualidade do ar.

Para o ambiente se encontrar em conforto térmico é necessário saber a quantidade de calor sensível que deve ser colocada ou retirada do local em que a pessoa se encontra, isso se dá o nome de carga térmica e a mesma está sujeita a fatores internos e externos. Nos fatores internos o calor é gerado por iluminação, equipamentos, calor das pessoas entre outros. Já em fatores externos a carga térmica varia com o ganho de calor pelas paredes e pelo ar de infiltração (ABNT, 2019).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2018), o aumento do uso de aparelhos de ar-condicionado em residências provocou o aumento na demanda e no consumo de energia elétrica, fato este que pode trazer problemas de sobrecarga no sistema de distribuição e geração de energia. Por isso, a importância de um projeto de climatização bem elaborado, pois através dos cálculos de carga térmica é possível adquirir aparelhos de refrigeração com a capacidade correta evitando assim o uso de equipamentos superdimensionados e consequentemente reduzindo o consumo de energia elétrica.

Este trabalho tem como objetivo calcular a carga térmica de uma biblioteca situada na nova UFPA da cidade de Tucuruí-PA, estrada do Aeroporto km 04. Além de calcular a carga térmica selecionou-se os aparelhos condicionador de ar adequado para proporcionar condições de conforto aos ocupantes do espaço e ainda promover eficiência energética. Nesse trabalho avaliou-se as características térmicas do local de estudo com base nas diretrizes da norma ABNT (2019), pois concluiu-se que a mesma é direcionada para esse tipo de situação, e será fundamental para alcançar o objetivo deste trabalho.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Projetar a carga térmica da biblioteca do novo prédio da UFPA com base na norma ABNT NBR16655:2019.

#### **2.1.1 Objetivos específicos**

- Descrever detalhadamente os parâmetros da norma acerca do dimensionamento de carga térmica;
- Analisar a influência dos diferentes tipos de carga térmica na carga térmica total;
- Selecionar os equipamentos e o número de aparelhos necessários para promover conforto térmico.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CONFORTO TÉRMICO

De acordo com Viana (2017), o corpo humano consegue suportar diversas condições térmicas. Todavia, as condições de umidade e de temperatura podem ultrapassar a capacidade humana de adaptação quando submetida em condições extremas de frio ou calor. Por isso, é essencial um controle das condições internas de maneira a proporcionar um ambiente confortável e agradável.

Segundo Frota e Schiffer (2003), em um ambiente em que a troca de calor do corpo humano e o ambiente ocorre sem maior esforço, a pessoa se encontra com uma sensação de conforto térmico e por consequência sua capacidade de trabalhar é máxima. No caso, se as condições térmicas causarem frio ou calor no indivíduo, conseqüentemente ocorre uma perda de trabalho e um desconforto térmico. Já se esse desconforto térmico ocasionar um problema de saúde a perda de trabalho pode ser total.

Entre os parâmetros que determinam as condições de conforto térmico, se destacam: velocidade do ar, temperatura do ar, umidade do ar, temperatura radiante, a taxa metabólica e o isolamento por meio das roupas. O conforto térmico representa uma condição mental que simboliza a satisfação com a temperatura ambiente em que a pessoa se encontra (ASHRAE, 2017).

A remoção de calor por convecção natural é proporcionalmente maior quando a temperatura de ar se encontra menor que a temperatura da pele. A renovação de calor por evaporação sofre uma grande influência da umidade relativa, pois através da baixa umidade relativa permite ao ar relativamente seco absorver a umidade da pele rapidamente, e com isso promover a rápida remoção de calor do corpo. A velocidade do ar é de suma importância para o processo de evaporação, pois quanto maior a velocidade de ventilação maior é o processo de evaporação, isso ocorre porque a umidade do corpo é retirada com uma maior rapidez (CARVALHO, 2018).

#### 3.2 CARGA TÉRMICA

As condições de conforto térmico de um local são adquiridas através da carga térmica encontrada, isso se deve ao fato de a carga térmica consegue remover ou adicionar a quantidade ideal de calor sensível ou latente para proporcionar a sensação de conforto desejável. A carga térmica de um local pode ser adquirida de diversas maneiras, tais como: condução, insolação, ventilação, pessoas, infiltração, equipamentos (CREDER, 2004).

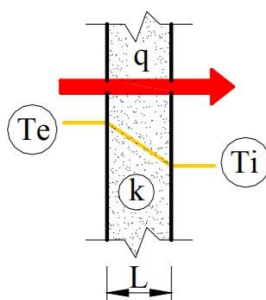
De acordo com ABNT (2008), o processo de condicionamento de ar envolve a transferência de calor. O calor latente é quando o vapor de água evapora ou condensa produzindo uma variação de umidade do ar sem alteração da temperatura. Já o calor sensível é quando a umidade do ar não sofre mudança de fase, porém sua temperatura sofre uma alteração.

No dia a dia a carga térmica de um local pode apresentar diversas variações devido a sua posição em relação ao sol, infiltração, temperaturas externas, taxa de ocupação e entre outros fatores. Sendo esse um cálculo minucioso, para que assim possa ser feito o dimensionamento correto da carga térmica e escolha dos equipamentos necessários para o local.

### 3.2.1 Carga térmica por transmissão por superfícies opacas

A condução pode ser vista como a transferência de energia das partículas mais energéticas para as menos energéticas de uma substância devido às interações entre partículas. Em outras palavras, na presença de um gradiente de temperatura, a transferência de energia por condução ocorre na direção da diminuição da temperatura (INCROPERA et al, 2019).

Na prática a quantidade de calor que flui através de um elemento opaco depende diretamente do material que o constitui, da espessura do elemento e do gradiente de temperatura. Essa transferência de calor por condução é influenciada diretamente pela condutibilidade térmica ( $k$ ) ou pela resistividade térmica ( $R$ ) do elemento construtivo. Na Figura 1 é ilustrado o processo de transmissão de calor por condução.



**Figura 1. Transmissão de calor por condução.**  
Fonte: RODRIGUES (2010).

Segundo ABNT (2019), é importante considerar também algumas condições, tais como: latitude, orientação, mês do ano, temperatura de bulbo seco externa e interna, horário, características construtivas do edifício, para condições de projeto e determinar as diferenças de temperatura para a carga de refrigeração (CLTD).

De acordo com Copetti (2016), em sólidos opacos a transferência de calor ocorre apenas por condução, enquanto que a transferência de calor por condução e radiação ocorrem paralelamente em sólidos semitransparentes. A estimativa dos coeficientes de transferência de

calor por condução varia de acordo com o arranjo dos materiais e de suas espessuras para a construção de paredes, pisos e lajes do recinto. Esses valores podem ser verificados no manual de cálculo de carga térmica do ASHRAE Handbook-Fundamentals (2017). Os arranjos de materiais mais usuais para o coeficiente de transmissão de calor por condução são apresentados nas Tabelas 1 e 2 a seguir.

**Tabela 1. Coeficientes de transmissão de calor por condução através de superfícies opacas (paredes, pisos, lajes e telhados).**

Elementos de construção–Características físicas			Parede externa	Laje externa+ espessura ar	Laje externa+ isolamento
Elemento construtivo	Espessura M	Coeficiente de condutibilidade k W/(m . °C)	Resistividade térmica (m <sup>2</sup> .°C)/W	Resistividade térmica (m <sup>2</sup> .°C)/W	Resistividade térmica (m <sup>2</sup> .°C)/W
Filme do ar externo	Não	0	0,044	0,044	0,044
Reboque + pintura	0,025	0,73	0,034	0	0
Bloco de concreto	0,200	1,04	0,192	0	0
Concreto laje maciça e contrapiso	0,150	1,9	0	0,079	0,079
Drywall Gesso	0,070	0,46	0	0,152	0
Vidro	0,000	0,76	0	0	0
Espaço de ar	Não	0	0	0,100	0
Isolamento 25 mm lâ de vidro	0,025	0,032	0	0	0,78125
Reboque + pintura	0,025	0,73	0,034	0,034	0
Filme do ar interno	Não	0	0,121	0,121	0
<b>Total</b>	0	0	0,426	0,590	0,904

Fonte: ABNT (2019).

**Tabela 2. Coeficientes de transmissão de calor por condução através de piso, parede interna e janelas.**

Elemento construtivo	Piso/Laje interna	Parede interna	Janela externa simples	Janela externa cortina
	Resistividade térmica (m <sup>2</sup> .°C)/W	Resistividade térmica (m <sup>2</sup> .°C)/W	Resistividade térmica (m <sup>2</sup> .°C)/W	Resistividade térmica (m <sup>2</sup> .°C)/W
Filme de ar externo	0	0	0,044	0,044
Concreto laje maciça e contrapiso	0,079	0	0	0
Drywall	0	0,152	0	0

Vidro	0	0	0,008	0,016
Espaço de ar (vidro duplo)	0	0	0	0,160
Filme de ar interno	0,242	0,242	0,121	0,121
<b>Total</b>	<b>0,321</b>	<b>0,394</b>	<b>0,173</b>	<b>0,341</b>

Fonte: ABNT (2019).

Para os casos dos elementos construtivos não estejam listados nas Tabelas 1 e 2, deve ser calculado conforme o manual ASHRAE Handbook-Fundamentals (2017). Além disso, as paredes que separam ambientes na mesma temperatura devem ser ignoradas.

O método CLTD foi desenvolvido a partir de um grupo de materiais construtivos comumente empregados nas edificações americanas para gerar uma série de dados de diferenciais de temperatura para carga térmica (CLTD). Este método utiliza um procedimento de cálculo manual e direto. Ele leva em consideração a resistência térmica à transmissão do calor, sua inércia térmica, o efeito do sol e a diferença da temperatura interna e externa (ABNT, 2019). A seguir, na Tabela 3 são apresentados os valores das diferenças de temperaturas para a carga de resfriamento em algumas capitais brasileiras de acordo com suas orientações.

**Tabela 3. Diferença de temperatura para a carga de resfriamento CLTD, corrigida às 16 h.**

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

Fonte: ABNT (2019).

Segundo a ABNT (2019), caso seja necessário corrigir o CLTD, deve-se utilizar a Equação 3.1.

$$CLTD_r = CLTD + (25 - TBS_p) + (TBS_{aem} - 29) \quad (3.1)$$

Onde:

- $CLTD_r$  = é a diferença de temperatura da carga de resfriamento (°C);
- $TBS_p$  = é a temperatura de bulbo seco de projeto (°C);
- $TBS_{aem}$  = é a temperatura de bulbo seco média do ar externo ao longo do dia (°C).

De acordo com a ABNT (2019), para o cálculo da transmissão de calor por superfícies opacas, deve-se utilizar a Equação 3.2.

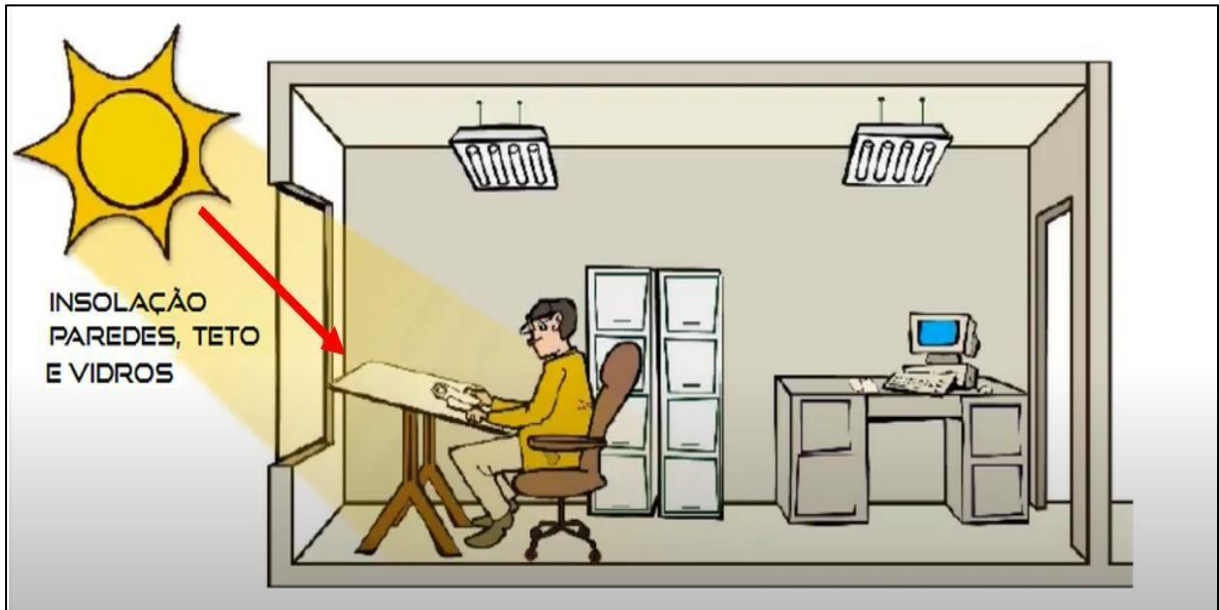
$$q_{strans} = [A \cdot (CLTD_r)]/R \quad (3.2)$$

Onde:

- $A$  = é a área da superfície (m<sup>2</sup>);
- $CLTD_r$  = é a diferença de temperatura da carga de resfriamento (°C);
- $R$  = é a resistividade térmica da superfície (m<sup>2</sup> · °C)/W.

### 3.2.2 Carga térmica por insolação

Segundo Matos (2010), a carga térmica devido à insolação de um dado ambiente será o fluxo de calor radiante solar ganho pelo ambiente através de suas estruturas (paredes, vidros e teto) conforme é ilustrado na Figura 2. A temperatura de uma superfície exposta ao Sol é normalmente superior à temperatura do ar exterior. Assim, o calor circula da superfície para o ar através da película superficial exterior. Só uma parte do calor radiante que atinge a superfície passa para o interior da estrutura.



**Figura 2. Carga térmica por insolação.**

Fonte: Adaptado de RIGA (2018).

Há fatores importantes que devem ser levados em consideração nos cálculos dessa carga térmica, como por exemplo: o ganho de calor por insolação (SHGF), fator de carga de resfriamento (CLF) apropriados e as características adicionais do edifício como localização, orientação (norte, leste, sul e oeste) e sombreamento externo devido a outras construções ou mesmo árvores.

O fator de ganho de calor por insolação (SHGF) leva em consideração a potência de insolação específica que considera a latitude e o período do ano para a incidência máxima da radiação solar em superfícies transparentes (ABNT, 2019). Na Tabela 4 a seguir são apresentados os fatores de ganho de calor em função da insolação, no mês de janeiro, em algumas capitais brasileiras de acordo com suas orientações.

**Tabela 4. Fator de ganho de calor por insolação SHGF em W/m<sup>2</sup>.**

	<b>Cidade</b>				
	<b>Belém, PA</b>	<b>Brasília, DF</b>	<b>Porto Alegre, RS</b>	<b>Rio de Janeiro, RJ</b>	<b>São Paulo, SP</b>
<b>Latitude sul (°)</b>	<b>1,38</b>	<b>17,87</b>	<b>30,00</b>	<b>22,82</b>	<b>23,62</b>
<b>Mês</b>	Janeiro	Janeiro	Janeiro	Janeiro	Janeiro
<b>Unidade W/m<sup>2</sup></b>					
<b>Norte</b>	363	135	204	142	142
<b>Nordeste</b>	634	363	458	555	555
<b>Leste</b>	615	666	678	672	672

<b>Sudeste</b>	243	582	532	407	407
<b>Sul</b>	120	163	125	145	145
<b>Sudoeste</b>	243	582	532	407	407
<b>Oeste</b>	616	666	678	672	672
<b>Noroeste</b>	634	363	458	555	555
<b>Horizontal</b>	820	876	866	877	877

Fonte: ABNT (2019).

O fator de carga de resfriamento em função do horário (CLF) é influenciado pela orientação geográfica e pelo horário, que para o caso em estudo foi pré-determinado o horário das 16h. O fator de carga de resfriamento varia de acordo com a orientação geográfica esses valores são estipulados pela ABNT (2019) e são apresentados na Tabela 5 a seguir.

**Tabela 5. Carga de insolação – Fator de carga de resfriamento às 16 h.**

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

Fonte: ABNT (2019).

O coeficiente de sombreamento (SC) é o fator que corrige a radiação solar transmitida para o ambiente em função de características físicas do vidro, como espessura, característica óptica de reflexão ou absorção e forma construtiva. No caso de vidros em janelas ou claraboias, pode-se reduzir a sua transmissibilidade através do uso de cortinas e películas protetoras, diminuindo assim a carga térmica interna. Os coeficientes de sombreamento previamente calculados pela norma ABNT (2019) são apresentados na Tabela 6 para vidro simples, vidro simples + cortina e vidro refletivo + cortina.

**Tabela 6. Coeficientes de sombreamento (adimensional) para películas protetoras e sombreamento interno (cortinas).**

<b>Vidro</b>		
6mm		
<b>Simples</b>	<b>Simples + cortina</b>	<b>Refletivo + cortina</b>
0,87	0,55	0,30

Fonte: ABNT (2019).

Para determinar a carga térmica por insolação ( $q_{Sins}$ ) o recinto, em função dos coeficientes de transferência de calor, áreas, diferenças de temperatura e fator de ganho de calor por insolação, utiliza-se a Equação 3.3.

$$q_{Sins} = A_j \cdot SC \cdot SHGF \cdot CLF \quad (3.3)$$

Onde:

- $A_j$  = é a área da janela ( $m^2$ );
- $SC$  = é o fator de sombreamento (Adimensional);
- $SHGF$  = é o fator de ganho de calor por insolação ( $W/m^2$ ).
- $CLF$  = é o fator de carga de resfriamento em função do horário.

### 3.2.3 Carga térmica por infiltração

O movimento do ar exterior ao recinto possibilita a sua penetração através das frestas nas portas, janelas ou outros tipos de aberturas, como é mostrado na Figura 3. Tal penetração adiciona carga térmica sensível ou latente. Embora essa carga não possa ser calculada com precisão, pois depende da velocidade do vento e da vedação das frestas, mesmo assim há dois métodos que permitem a sua estimativa: o método da troca de ar e o método das frestas. Neste estudo, será utilizado o método da troca de ar. Este método supõe uma troca de ar por hora dos recintos levando em consideração a área e a quantidade de janelas do ambiente de estudo (CREDER, 2004).



**Figura 3. Carga térmica por infiltração de ar.**

Fonte: Adaptado de RIGA (2018).

Com base nas características construtivas da edificação, vedação de janelas e portas, e dos valores de projeto da velocidade do vento e da diferença de temperatura, pode-se estimar a taxa de infiltração com ar externo. Segundo a norma ABNT (2019), o valor mínimo recomendado é 1 L/s.m<sup>2</sup> (3,6 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>) de vazão de ar externo infiltrado ( $Q_{inf}$ ) para cada ambiente residencial.

De acordo com a norma ABNT (2019), é necessário calcular a vazão de ar externo através da Equação 3.4 a seguir.

$$Q_{ae} = Q_{inf} \cdot A_p \quad (3.4)$$

Onde:

- $Q_{ae}$  = é a vazão de ar externo (m<sup>3</sup>/h);
- $Q_{inf}$  = é a vazão de ar externo infiltrado (m<sup>3</sup>/h);
- $A_p$  = é a área do piso (m<sup>2</sup>).

Com base na vazão volumétrica de ar externo, é possível calcular a vazão em massa de ar de infiltração utilizando a Equação 3.5 da norma ABNT (2019).

$$m_{ae} = (Q_{ae}) \cdot (1/3600) \cdot \rho \quad (3.5)$$

Onde:

- $m_{ae}$  = é a vazão em massa de ar externo (kg/s);
- $Q_{ae}$  = é a vazão em volume de ar externo (m<sup>3</sup>/h), calculado com base na Eq. 3.4;
- $1h/3600s$  = é a transformação de metros cúbicos por hora em metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/h em m<sup>3</sup>/s);

- $\rho = \rho$  é a massa específica do ar externo (kg/m<sup>3</sup>).

Por sua vez, a carga térmica por infiltração pode ser calculada através da Equação 3.6 a seguir.

$$qt_{ae} = m_{ae} \cdot (h_{ae} - h_{amb}) \quad (3.6)$$

Onde:

- $m_{ae}$  = é a vazão em massa de ar externo (kg/s), calculado com base na Eq. (3.6);
- $h_{ae}$  = é a entalpia do ar externo (kJ/kg);
- $h_{amb}$  = é a entalpia do ar ambiente (kJ/kg).

Um dos parâmetros importantes no dimensionamento de carga térmica é determinar a temperatura do ar externo, e conseqüentemente, a entalpia do ar externo, esse valor é determinado de acordo com a cidade escolhida, esses dados são tabelados e fornecidos na ABNT (2008). Todavia, caso não seja encontrada essa condição na cidade ou no local da instalação, pode ser usado um valor por aproximação. A seguir, na Tabela 7 é apresentada as condições de verão de sete cidades do Brasil, mostrando sua altitude, temperatura máxima de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido coincidente, umidade absoluta, volume específico e entalpia.

**Tabela 7. Condições de temperatura e umidade do ar externo para o verão.**

Cidade	Altitude m	Temperatura máxima de bulbo seco °C	Temperatura de bulbo úmido coincidente °C	Umidade absoluta kg de vapor / kg ar seco	Volume específico m <sup>3</sup> /kg	Entalpia kJ/kg
Belém	16	33,2	25,9	0,0182	0,895	79,87
Brasília	1060	32,2	17,1	0,0062	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: ABNT (2019).

A determinação da entalpia do ar ambiente depende da escolha da temperatura de projeto do ambiente condicionado, pois deve ser adequada às pessoas em função de sua idade, atividade e roupas, conforme estabelece a ABNT (2008). Caso seja necessário, as condições

das temperaturas internas de verão podem ser adotadas conforme a Tabela 8, que apresenta os valores de altitude, temperatura de bulbo seco, umidade relativa, pressão atmosférica, umidade absoluta, volume específico e entalpia.

**Tabela 8. Condições das temperaturas internas de referência para o verão.**

Ar interno	Altitude m	Temp. de bulbo seco °C	Umidade relativa %	Pressão atm kPa	Umidade absoluta kg/kg	Volume específico m <sup>3</sup> /kg	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

NOTA: As condições de temperatura de bulbo seco de 26 °C são consideradas como valores para instalações de menor custo inicial e operacional (energia elétrica) sem a perda de conforto.

Fonte: ABNT (2019).

### 3.2.4 Carga térmica devido às pessoas

A parcela de calor sensível e calor latente liberada pelos ocupantes variam com a temperatura e a atividade do indivíduo. A Figura 4 a seguir ilustra a carga térmica liberada pelas pessoas.



**Figura 4. Carga térmica liberada pelo indivíduo em função da sua atividade.**

Fonte: Adaptado de RIGA (2018).

Os dados de calor sensível e latente são normalizados e tem-se um valor fixo para cada forma de calor dentro do recinto (MATOS, 2010). De acordo com a norma ABNT (2019), as cargas relativas às pessoas em função de suas atividades são apresentadas na Tabela 9.

**Tabela 9. Carga térmica interna das pessoas em função da atividade.**

Atividade	Calor sensível	Calor total	CLF
	W/pessoa	W/pessoa	Adimensional
Pessoas, sentadas, trabalho leve	75	150	1
Dançando	120	375	-

Fonte: ABNT (2019).

Vale ressaltar que o calor total por pessoa em função da atividade física é igual à soma da parcela de calor sensível e de calor latente. Neste caso, o fator de carga de resfriamento (CLF) representa um fator de correção dos valores de carga térmica em função do efeito de retardamento da incidência do calor da radiação emitida por pessoas devido a sua temperatura de superfície e da radiação solar. O calor sensível e o CLF são valores tabelados e fornecidos na norma ABNT (2019).

De acordo a ABNT (2019), o cálculo térmico interna de pessoas deve ser feito as Equações 3.7 e 3.8.

$$q_{S_{pessoas}} = n^{\circ}_{pessoas} \cdot c_{S_{pessoa}} \cdot CLF \quad (3.7)$$

Onde:

- $q_{S_{pessoas}}$  = é o calor sensível referente as pessoas (W);
- $n^{\circ}_{pessoas}$  = é o número de pessoas;
- $c_{S_{pessoa}}$  = é o calor por pessoa, em função da atividade (W/pessoa);
- $CLF$  = é o fator de carga de resfriamento adimensional.

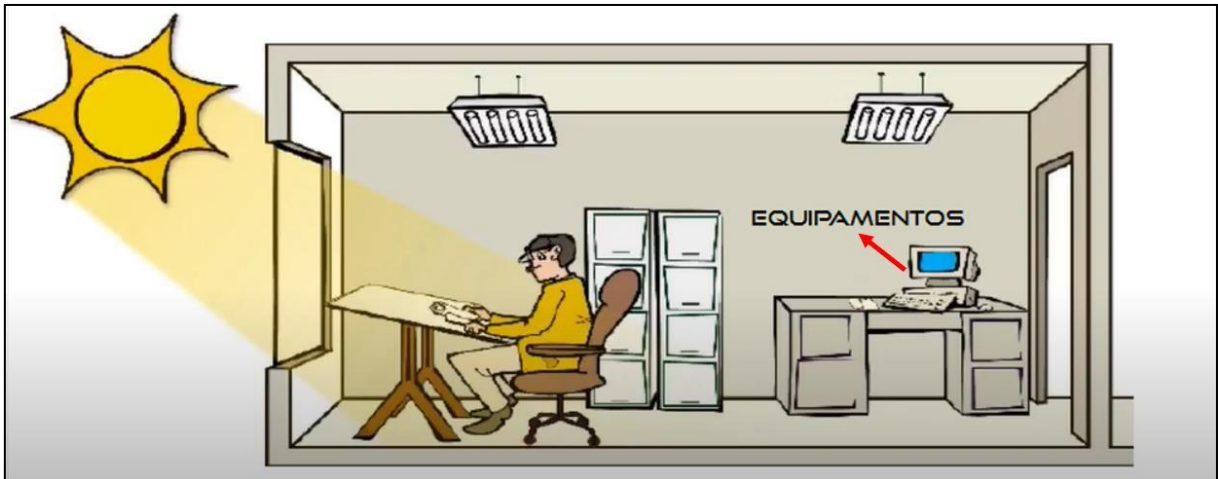
$$q_{l_{pessoas}} = n^{\circ}_{pessoas} \cdot (cl_{pessoa} - c_{S_{pessoa}}) \quad (3.8)$$

Onde:

- $q_{l_{pessoas}}$  = é o calor latente referente a pessoas (W);
- $n^{\circ}_{pessoas}$  = é o número de pessoas;
- $cl_{pessoa}$  = é o calor total por pessoa, em função da atividade (W/pessoa);
- $c_{S_{pessoa}}$  = é o calor sensível por pessoa em função da atividade (W/pessoa).

### 3.2.5 Carga térmica de equipamentos eletrônicos

A potência nominal de todos os equipamentos eletrônicos existentes no ambiente, tais como, máquinas de escrever, equipamentos de som e vídeo, computadores, impressoras, entre outros, deverá ser considerada como carga térmica sensível para o ambiente (PIRANI, 2004). A parcela da carga térmica dos equipamentos eletrônicos é mostrada na Figura 5.



**Figura 5. Carga térmica liberada por equipamentos eletrônicos.**

Fonte: Adaptado de RIGA (2018).

Na norma ABNT (2019) são fornecidos os dados referentes a potência, o fator de carga de resfriamento e as cargas térmicas relativas dos equipamentos de televisão e computador desktop. Essas informações são apresentadas na Tabela 10 a seguir.

**Tabela 10. Carga térmica interna em função de equipamentos.**

Equipamentos	W	W/equipamento W	Fator de carga de resfriamento CLF Adimensional	Carga térmica W
Televisão 40 polegadas	250	250	0,8	200
Computador <i>desktop</i>	135	135	0,8	108

Fonte: ABNT (2019).

O fator de carga de resfriamento CLF representa um fator de correção dos valores de carga térmica em função dos equipamentos e pode ser alterado em função do uso dos mesmos (ABNT, 2019). Vale ressaltar que no caso de cozinhas conjugadas, na qual há a dificuldade em função da exaustão de ar da coifa do fogão, bem como a carga térmica dos equipamentos instalados, recomenda-se consultar ASHRAE Handbook–Fundamentals (2017).

Para calcular a carga sensível de equipamentos, utiliza-se a Equação 3.9.

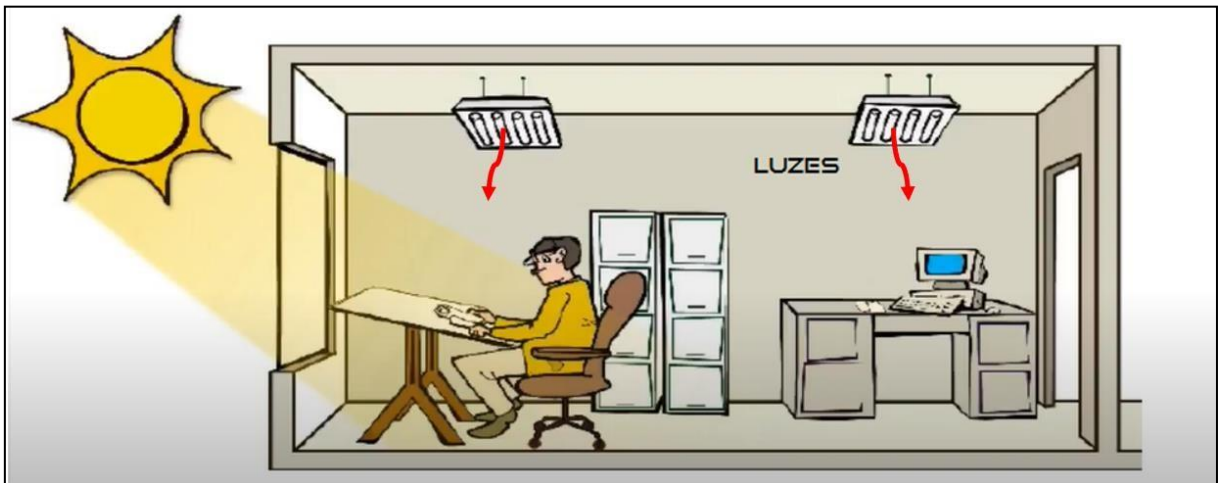
$$q_{Sequip} = P_{Sequip} \cdot CLF \quad (3.9)$$

Onde:

- $q_{Sequip}$  = é a carga sensível de equipamentos (W);
- $P_{Sequip}$  = é a potência instalada do equipamento (W);
- $CLF$  = é o fator de carga de resfriamento adimensional.

### 3.2.6 Carga térmica da iluminação

A iluminação utilizada no recinto pode ser de dois tipos: fluorescente e incandescente. Na Figura 6 é apresentada a parcela da carga térmica atribuída a iluminação.



**Figura 6. Carga térmica da iluminação.**

Fonte: Adaptado de RIGA (2018).

É através da potência e do tipo das lâmpadas que se tem o valor da carga térmica através da iluminação. Além disso, a iluminação adequada pode variar de acordo com a característica do ambiente do recinto. Segundo a norma ABNT (2019) na Tabela 11 é mostrada as cargas relativas à iluminação, a potência por m<sup>2</sup> e o fator de carga de resfriamento CLF.

**Tabela 11. Carga térmica interna em função de iluminação.**

Carga internas por Iluminação	Potência por m <sup>2</sup>	Fator de carga de resfriamento CLF
	W/m <sup>2</sup>	Adimensional
Escritório	12	1
Sala de jantar	23	1
Quartos de dormir	10	1

Fonte: ABNT (2019).

Os valores desta tabela correspondem a uma densidade de potência de iluminação em W/m<sup>2</sup>. No caso conhecida a potência instalada no recinto, recomenda-se a utilização deste valor. Consideram como fator de carga de resfriamento (CLF) o valor 1.

Segundo a norma ABNT (2019), a carga sensível de iluminação deve ser calculada conforme as Equações 3.10 e 3.11.

$$P_{Si\text{lum}} = A_j \cdot c_{Si\text{lum}} \quad (3.10)$$

Onde:

- $P_{Si\text{lum}}$  = é a potência instalada de iluminação (W);
- $A_j$  = é a área de piso expressa (m<sup>2</sup>);
- $c_{Si\text{lum}}$  = é a potência instalada específica (W/m<sup>2</sup>).

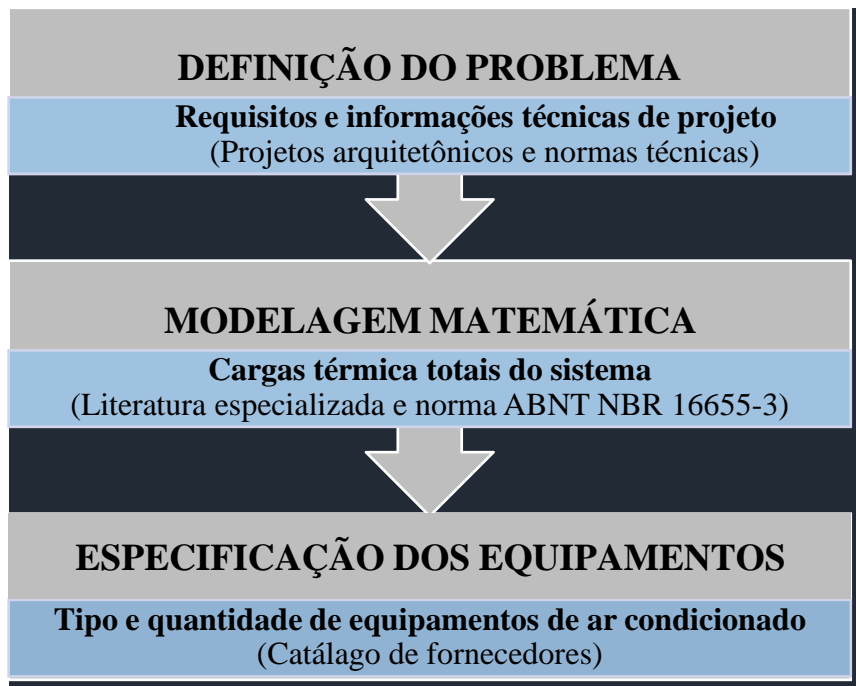
$$q_{Si\text{lum}} = P_{Si\text{lum}} \cdot CLF \quad (3.11)$$

Onde:

- $q_{Si\text{lum}}$  = é a carga sensível de iluminação (W);
- $P_{Si\text{lum}}$  = é a potência instalada de iluminação (W);
- $CLF$  = é o fator de carga de resfriamento adimensional.

## 4 METODOLOGIA

A metodologia de projeto do dimensionamento de carga térmica para a biblioteca da nova UFPA está dividida em 3 fases, conforme o fluxograma da Figura 7. Os requisitos de projeto são obtidos na 1ª fase, delimitando o objeto do estudo, mediante consulta aos projetos arquitetônicos do local avaliado, além de consulta às normas técnicas pertinentes. Na Fase 2, Modelagem Matemática, as cargas térmicas totais requeridas são determinadas atendendo à norma ABNT (2019), que trata dos parâmetros básicos de projeto para instalações de ar condicionado para conforto térmico. A Modelagem Matemática do sistema de ar condicionado encontra-se detalhada ao longo desta seção. Por fim, na Fase 3, o tipo e a quantidade de equipamentos são especificados.



**Figura 7. Metodologia utilizada no trabalho.**

Fonte: Autoria própria.

### 4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO DA BIBLIOTECA DA UFPA

Vale ressaltar que já existe uma UFPA na cidade de Tucuruí, todavia, está sendo feito um novo prédio da UFPA com uma nova infraestrutura, para um maior número de estudantes e um local mais agradável. Essa nova unidade da UFPA no momento está em um processo de construção e para auxiliar nesse processo está sendo feito o dimensionamento da carga térmica da biblioteca deste local.

Neste estudo foi analisado a planta baixa da biblioteca e levantados os dados pertinentes para o cálculo da carga térmica. A seguir são apresentadas as Figuras 8 e 9 que correspondem

a imagem da nova UFPA retirada por satélite e a imagem externa do local de estudo, respectivamente.



**Figura 8. Localização por satélite da nova UFPA na cidade de Tucuruí-PA.**

Fonte: Google (2021).



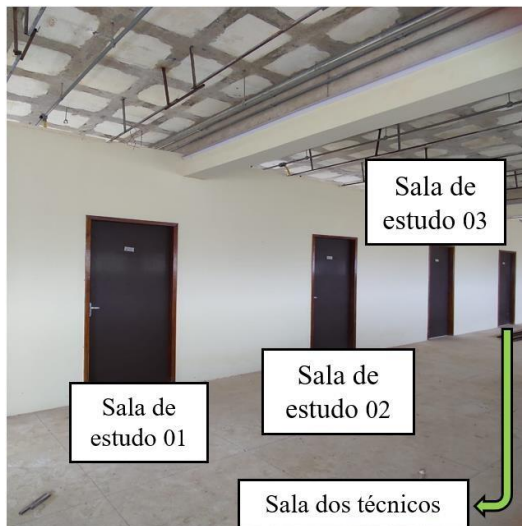
**Figura 9. Nova UFPA localizado na cidade de Tucuruí-PA.**

Fonte: Autoria própria.

A seguir nas Figuras 10, 11, 12 e 13 são mostradas imagens do ambiente interno da biblioteca e seus respectivos recintos como: área de acesso comum, sala de estudo 01, sala de estudo 02, sala de estudo 03, sala dos técnicos, almoxarifado, bibliotecário e sala de estudo amplo. Além disso, na Figura 14 é apresentada a planta baixa do local de estudo.



**Figura 10. Area de acesso comum da biblioteca.**  
Fonte: Autoria própria.



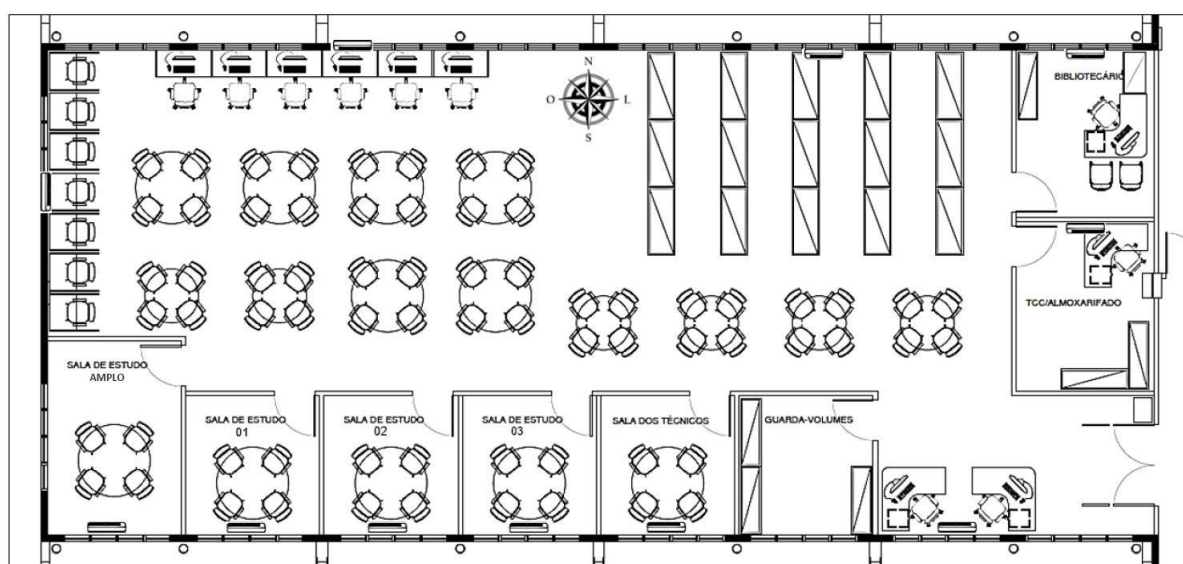
**Figura 11. Sala dos técnicos e sala de estudo 01, 02 e 03 da biblioteca.**  
Fonte: Autoria própria.



**Figura 12. Bibliotecário e almoxarifado da biblioteca.**  
Fonte: Autoria própria.



**Figura 13. Sala de estudo amplo da biblioteca.**  
Fonte: Autoria própria.



**Figura 14. Planta baixa da biblioteca da UFPA.**  
Fonte: UFPA (2017).

A partir da planta arquitetônica da Biblioteca da nova UFPA apresentada acima, foram extraídas as medidas de cada recinto da biblioteca que são necessários para o dimensionamento da carga térmica. O local de estudo possui o pé direito de 3 m e as áreas das janelas são padronizadas (0,78 m x 2,40 m). Segundo a norma ABNT (2019), para realizar este estudo é necessário calcular a área das paredes externas ao prédio da UFPA que corresponde a área total da parede menos a área das janelas. Além disso, de acordo com a norma ABNT (2019), as áreas das portas serão desconsideradas. Por fim, as dimensões das áreas das paredes de cada recinto da biblioteca são apresentadas nas Tabelas 12, 13, 14, 15 e 16, respectivamente.

**Tabela 12. Dimensões relacionada à área das salas de estudos 01, 02 e 03 e da sala dos técnicos.**

<b>Sala de estudos 01, 02 e 03 e sala dos técnicos</b>	<b>Área da parede (<math>m^2</math>)</b>
Parede Norte	8,94
Parede Sul	7,07
Janela Sul	1,87
Parede Leste	9,30
Parede Oeste	9,30
Laje	9,24

Fonte: UFPA (2017).

**Tabela 13. Dimensões relacionada à área da sala de estudo amplo.**

<b>Sala de estudo amplo</b>	<b>Área da parede (<math>m^2</math>)</b>
Parede Norte	8,94
Parede Sul	8,94
Janela Sul	1,87
Parede Leste	12,90
Parede Oeste	12,90
Janela Oeste	1,87
Laje	12,81

Fonte: UFPA (2017).

**Tabela 14. Dimensões relacionada à área do almoxarifado.**

<b>Almoxarifado</b>	<b>Área da parede (<math>m^2</math>)</b>
Parede Norte	9,24
Parede Sul	9,24
Parede Leste	11,25
Parede Oeste	11,25
Laje	11,55

Fonte: UFPA (2017).

**Tabela 15. Dimensões relacionada à área do Bibliotecário.**

<b>Bibliotecário</b>	<b>Área da parede (<math>m^2</math>)</b>
Parede Norte	9,24
Janela Norte	1,87
Parede Sul	9,24
Parede Leste	11,10

Parede Oeste	11,10
Laje	11,40

Fonte: UFPA (2017).

**Tabela 16. Dimensões relacionada à área de acesso comum da biblioteca.**

Área de acesso comum	Área da parede ( $m^2$ )
Parede Norte	83,10
Janela Norte	1,87
Parede Sul	83,10
Janela Sul	1,87
Parede Leste	41,10
Parede Oeste	41,10
Janela Oeste	1,87
Laje	204,80

Fonte: UFPA (2017).

## 4.2 CARGA TÉRMICA

### 4.2.1 Carga térmica por transmissão por superfícies opacas

Para calcular a carga térmica por transmissão por superfícies opacas, deve-se utilizar a Equação 3.2, e determinar a resistividade térmica e o CLTD. Como este estudo se baseia na norma ABNT (2019), extraiu-se os dados a respeito das paredes externas que possuem uma espessura de 25 cm e o seguinte arranjo de materiais: Filme do ar externo, Reboque + pintura, Bloco de concreto, Reboque + pintura, Filme do ar interno. Com isso, através da Tabela 1 chegou-se ao valor de resistividade térmica da parede externa igual a  $0,426 m^2 \cdot ^\circ C/W$  e para a laje externa mais a espessura do ar considerou-se o valor de  $0,590 m^2 \cdot ^\circ C/W$ . De acordo, com o projeto não será utilizado cortinas nas janelas, por isso, considerou-se janelas simples e por meio da Tabela 2 definiu-se que sua resistividade térmica é de  $0,173 m^2 \cdot ^\circ C/W$ .

Por fim, é necessário determinar as diferenças de temperatura em função das condições de transmissão. Na Tabela 3 foram extraídas as diferenças de temperaturas para a carga de refrigeração (CLTD) corrigido às 16h para cada sentido de orientação na cidade de Belém, pois para este estudo foram adotados como referência os dados desta cidade, por ser a mais próxima do local de estudo. Na Tabela 17 são apresentados uma síntese dos dados de resistividade térmica e CLTD citados nos parágrafos anteriores.

**Tabela 17. Dados de resistividade térmica e CLTD.**

<b>Resistividade térmica (<math>m^2 \cdot ^\circ C</math>)/ <math>W</math></b>			
Parede externa	Laje externa + espessura ar		Janela simples
0,426	0,590		0,173
<b>CLTD na cidade de Belém-PA, corrigida às 16 h (<math>^\circ C</math>)</b>			
Norte	Sul	Oeste	Leste
11,1	19,1	16,1	20,1

Fonte: Adaptado da ABNT (2019).

#### 4.2.2 Carga térmica por insolação

Para o cálculo da carga térmica de insolação através das janelas utilizou-se a Equação 3.3. Para isso, é necessário determinar o fator de sombreamento, o fator de ganho de calor por insolação e o fator de carga de resfriamento em função do horário.

Foram utilizados os dados de fator de ganho por insolação (SHGF) da cidade de Belém-PA da Tabela 4, na qual o seu valor varia de acordo com o sentido de localização da janela. O fator de carga de resfriamento em função do horário (CLF) é um fator que também altera conforme a posição da janela no recinto e esses valores são obtidos através da Tabela 5. Como no projeto foi considerado que não serão utilizadas cortinas nas janelas, o coeficiente de sombreamento (SC) utilizado é para janelas simples, com um vidro de 6 mm de espessura, que corresponde a um fator de 0,87. Os dados de SHGF, de CLF e SC são mostrados na Tabela 18 a seguir.

**Tabela 18. Dados do SHGF, CLF e SC.**

<b>SHGF em <math>W/m^2</math>, na cidade de Belém-PA</b>			
Norte	Sul	Oeste	Leste
363	120	616	615
<b>CLF em função do horário -16h (adimensional)</b>			
Norte	Sul	Oeste	Leste
0,75	0,35	0,82	0,17
<b>SC – Vidro de 6mm, simples (adimensional)</b>			
0,87			

Fonte: Adaptado da ABNT (2019).

### 4.2.3 Carga térmica por infiltração

Para o cálculo da carga térmica por infiltração é necessário determinar a vazão de ar externo infiltrado. A norma ABNT (2019) recomenda o valor mínimo recomendado é de 1 L/s.m<sup>2</sup> (3,6 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>). Se baseando em um exemplo de cálculo de carga térmica por infiltração apresentado na própria norma ABNT (2019), neste local de estudo por se tratar também de um espaço amplo com várias aberturas será adotado do mesmo modo um valor duas vezes maior que o valor mínimo que é 7,2 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>. Determinado a vazão de ar infiltrado e conhecendo a área do piso do recinto, através da Equação 3.4 é possível calcular a vazão de ar externo. No entanto, é necessário converter a vazão volumétrica em vazão mássica utilizando a Equação 3.5. Para isso, é necessário saber a massa específica do ar externo. A massa específica do ar na pressão atmosférica padrão e a temperatura à 25°C é de 1,20 kg/m<sup>3</sup>.

Com base nessas informações, é possível calcular a carga térmica por infiltração utilizando a Equação 3.6. Além da vazão mássica de ar externo, é necessário determinar a entalpia do ar externo e do ar ambiente. Como a cidade de Belém está sendo adotado como referência, através da Tabela 7 obteve-se o valor da entalpia de ar externo igual a 79,87 kJ/kg. E para a entalpia do ar ambiente foi adotado a condição 1 na Tabela 8 obtendo-se o valor de 47,92 kJ/kg. A seguir na Tabela 19 é mostrado os dados da entalpia para o ar externo e interno.

**Tabela 19. Dados para entalpia de ar externo e ar interno.**

<b>Entalpia kJ/kg, na cidade de Belém-PA</b>	<b>Entalpia kJ/kg, na Condição 1</b>
79,87	47,92

Fonte: Adaptado da ABNT (2019).

### 4.2.4 Carga térmica devido as pessoas

Para o cálculo da carga térmica devido as pessoas, foi utilizado a Equação 3.7. Todavia, é necessário saber a quantidade de pessoas, o calor por pessoas em função da atividade e o fator de carga de resfriamento. A determinação da quantidade de pessoas foi realizada com base número de cadeiras disponíveis em cada recinto da biblioteca com base na planta baixa do projeto. A seguir é apresentado na Tabela 20 o número de pessoas por recinto na biblioteca.

**Tabela 20. Quantidade de pessoas por recinto.**

<b>Recinto</b>	<b>Quantidade de pessoas</b>
Sala de estudo 01, 02 e 03	4
Sala dos técnicos	4
Sala de estudo amplo	4

Almoxarifado	2
Bibliotecário	3
Área de acesso comum	63

Fonte: Autoria própria.

Por sua vez, o calor por pessoas em função da sua atividade e o CLF (fator de carga de resfriamento) foram extraídos da Tabela 9. Uma vez que o local de estudo é uma biblioteca foi determinado uma condição em que as pessoas estão realizando atividades sentadas e trabalhos leves. O calor por pessoas em função da sua atividade e o CLF são mostrados na Tabela 21.

**Tabela 21. Dados para atividades das pessoas sentadas e CLF.**

Atividade	Calor sensível	CLF
	W/pessoa	Adimensional
Pessoas sentadas, trabalho leve	75	1

Fonte: Adaptado da ABNT (2019).

#### 4.2.5 Carga térmica de equipamentos eletrônicos

Para o cálculo da carga térmica de equipamentos eletrônicos utilizou-se a Equação 3.9. Todavia, é necessário determinar a quantidade e potência dos equipamentos, assim como o CLF (fator de carga de resfriamento) ambos são obtidos através da Tabela 10. Considerou-se a situação mais crítica, ou seja, o caso em que cada recinto da biblioteca se encontra na capacidade máxima e que todas as pessoas estão utilizando computadores, conforme é apresentado na Tabela 22.

**Tabela 22. Quantidade de computadores *desktop* por recinto.**

Recinto	Quantidade de computadores <i>desktop</i>
Sala de estudo 01, 02 e 03	4
Sala dos técnicos	4
Sala de estudo amplo	4
Almoxarifado	1
Bibliotecário	3
Área de acesso comum	63
<b>Total</b>	<b>77</b>

Fonte: Autoria própria.

Embora, haja computadores portáteis e de mesa, nesse estudo para simplificar os cálculos utilizou-se como referência os dados fornecidos na Tabela 10 referente a potência e o

CLF do computador *desktop*. Essas informações são apresentadas na Tabela 23 a seguir.

**Tabela 23. Dados do valor da potência de um computador *desktop* e CLF.**

<b>Equipamentos</b>	<b><math>W</math></b>	<b><math>W/\text{equipamento}</math> <math>W</math></b>	<b>Fator de carga de resfriamento CLF (Adimensional)</b>
Computador <i>desktop</i>	135	135	0,8

Fonte: Adaptado da ABNT (2019).

#### 4.2.6 Carga térmica de iluminação

Para o cálculo da carga térmica de iluminação utilizou-se a Equação 3.11. O valor da potência instalada da iluminação, foi obtida através do projeto elétrico de iluminação e tomadas (ANEXO A) que corresponde a  $32 W/m^2$ . Além disso, a norma ABNT (2019) recomenda que sabendo a potência instalada deve-se utilizar um CLF igual à 1, esses dados são mostrados na Tabela 24.

**Tabela 24. Dados da potência específica instalada e o CLF.**

<b>Potência por <math>m^2</math></b>	<b>Fator de carga de resfriamento CLF</b>
$W/m^2$	Adimensional
32	1

Fonte: Projeto elétrico de iluminação e tomadas.

O número de lâmpadas escolhidas para esse projeto depende do ambiente dentro da biblioteca e esses dados também são fornecidos no projeto elétrico de iluminação e tomadas (ANEXO A). No caso da área de acesso comum, como são várias lâmpadas, será considerada a situação mais crítica, ou seja, todas as lâmpadas se encontraram ligadas para efeito de cálculos. A seguir é apresentada a Tabela 25 com os dados referentes ao número de lâmpadas por recinto.

**Tabela 25. Quantidade de lâmpadas por recinto.**

<b>Recinto</b>	<b>Quantidade de lâmpadas</b>
Sala de estudo 01, 02 e 03	1
Sala dos técnicos	1
Sala de estudo amplo	1
Almoxarifado	1
Bibliotecário	1
Área de acesso comum	18

Fonte: Projeto elétrico de iluminação e tomadas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A carga térmica nas salas de estudos 01, 02 e 03 e na sala dos técnicos serão iguais, uma vez que a orientação de cada ambiente, os aspectos construtivos, as dimensões das paredes, a posição e tamanho das janelas, o número de pessoas e equipamentos eletrônicos, a iluminação são as mesmas em cada um desses recintos. Logo, as parcelas de carga térmica de cada recinto citado acima serão iguais.

### 5.1 CARGA TÉRMICA POR TRANSMISSÃO POR SUPERFÍCIES OPACAS

A partir dos dados apresentados nas Tabelas 12, 13, 14, 15, 16 e 17 foram calculadas as cargas térmicas por transmissão por superfícies opacas para cada recinto estudado, utilizando a Equação 3.2. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 26 a seguir.

**Tabela 26. Transferência de calor por superfícies opacas para cada recinto.**

<b>Sala de estudo 01, 02, 03 e sala dos técnicos</b>				
<b>Orientação</b>	<b>Resistividade Térmica (<math>m^2 \cdot ^\circ C</math>)/W</b>	<b>Área (<math>m^2</math>)</b>	<b>CLTD (<math>^\circ C</math>)</b>	<b>Transmissão de Calor (W)</b>
Parede Norte	0,426	8,94	11,1	232,94
Parede Sul	0,426	7,07	19,1	316,90
Janela Sul	0,173	1,87	19,1	206,68
Parede Leste	0,426	9,30	20,1	438,80
Parede Oeste	0,426	9,30	16,1	351,48
Laje	0,590	9,24	12,1	189,46
<b>Total de cada recinto</b>				<b>1.736,26</b>
<b>Sala de estudo amplo</b>				
<b>Orientação</b>	<b>Resistividade Térmica (<math>m^2 \cdot ^\circ C</math>)/W</b>	<b>Área (<math>m^2</math>)</b>	<b>CLTD (<math>^\circ C</math>)</b>	<b>Transmissão de Calor (W)</b>
Parede Norte	0,426	8,94	11,1	232,94
Parede Sul	0,426	8,94	19,1	400,83
Janela Sul	0,173	1,87	19,1	206,68
Parede Leste	0,426	12,90	20,1	608,66
Parede Oeste	0,426	12,90	16,1	487,54
Janela Oeste	0,173	1,87	16,1	174,22
Laje	0,590	12,81	12,1	262,80
<b>Total</b>				<b>2.373,67</b>
<b>Almoxarifado</b>				
<b>Orientação</b>	<b>Resistividade Térmica (<math>m^2 \cdot ^\circ C</math>)/W</b>	<b>Área (<math>m^2</math>)</b>	<b>CLTD</b>	<b>Transmissão de Calor (W)</b>
Parede Norte	0,426	9,24	11,1	240,76
Parede Sul	0,426	9,24	19,1	414,28

Parede Leste	0,426	11,25	20,1	530,81
Parede Oeste	0,426	11,25	16,1	425,18
Laje	0,590	11,25	12,1	236,87
<b>Total</b>				<b>1.847,90</b>
<b>Bibliotecário</b>				
<b>Orientação</b>	<b>Resistividade Térmica (<math>m^2 \cdot ^\circ C</math>)/W</b>	<b>Área (<math>m^2</math>)</b>	<b>CLTD</b>	<b>Transmissão de Calor (W)</b>
Parede Norte	0,426	9,24	11,1	240,76
Janela Norte	0,173	1,87	19,1	206,46
Parede Sul	0,426	9,24	19,1	414,28
Parede Leste	0,426	11,1	20,1	523,73
Parede Oeste	0,426	11,1	16,1	419,51
Laje	0,590	11,40	12,1	233,71
<b>Total</b>				<b>2.038,45</b>
<b>Área de Acesso Comum</b>				
<b>Orientação</b>	<b>Resistividade Térmica (<math>m^2 \cdot ^\circ C</math>)/W</b>	<b>Área (<math>m^2</math>)</b>	<b>CLTD</b>	<b>Transmissão de Calor (W)</b>
Parede Norte	0,426	83,10	11,1	2.165,28
Janela Norte	0,173	1,87	11,1	119,98
Parede Sul	0,426	83,10	19,1	3.725,85
Janela Sul	0,173	1,87	19,1	206,46
Parede Leste	0,426	41,10	20,1	1.939,23
Parede Oeste	0,426	41,10	16,1	1.553,31
Janela Oeste	0,173	1,87	16,1	174,03
Laje	0,590	204,80	12,1	4.200,03
<b>Total</b>				<b>14.084,16</b>

Fonte: Autoria própria.

## 5.2 CARGA TÉRMICA POR INSOLAÇÃO

Para o cálculo da carga térmica devido a insolação foi considerado a incidência de sol nas janelas de cada recinto estudado. As áreas das janelas são padronizadas (0,78 m x 2,40 m) e com base nos dados da Tabela 18 foi calculada a carga térmica por insolação utilizando a Equação 3.3. A carga térmica total por insolação de cada recinto são mostrados na Tabela 27 a seguir.

**Tabela 27. Transferência de calor por insolação para cada recinto.**

<b>Sala de estudo 01, 02, 03 e sala dos técnicos</b>					
<b>Orientação</b>	<b>Área (<math>m^2</math>)</b>	<b>CLF</b>	<b>SHGF (<math>W/m^2</math>)</b>	<b>Fator de sombreamento</b>	<b>Transmissão de calor (W)</b>
Janela Sul	1,87	0,35	120	0,87	68,40
<b>Total de cada recinto</b>					<b>68,40</b>

<b>Sala de estudo amplo</b>					
<b>Orientação</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>CLF</b>	<b>SHGF (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Fator de sombreamento</b>	<b>Transmissão de calor (W)</b>
Janela Sul	1,87	0,35	120	0,87	68,40
Janela Oeste	1,87	0,82	615	0,87	821,32
<b>Total</b>					<b>889,73</b>

<b>Almoxarifado</b>					
---------------------	--	--	--	--	--

Nota: Como não há janelas nesse recinto, portanto a carga térmica por insolação foi desconsiderada neste recinto.

<b>Bibliotecário</b>					
<b>Orientação</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>CLF</b>	<b>SHGF (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Fator de sombreamento</b>	<b>Transmissão de calor (W)</b>
Janela Norte	1,87	0,75	363	0,87	443,40
<b>Total</b>					<b>443,40</b>

<b>Área de Acesso Comum</b>						
<b>Orientação</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>CLF</b>	<b>SHGF (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Fator de sombreamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Transmissão de calor (W)</b>
Janela Norte	1,87	0,75	363	0,87	7	3.103,78
Janela Sul	1,87	0,35	120	0,87	2	136,81
Janela Oeste	1,87	0,82	615	0,87	1	821,32
<b>Total</b>						<b>4.061,91</b>

Fonte: Autoria própria.

### 5.3 CARGA TÉRMICA POR INFILTRAÇÃO

Para determinar a vazão de ar externo foi necessário utilizar a Equação 3.4. Desse modo, utilizou-se a vazão de ar externo infiltrado de  $7,2\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$  e a área total de cada recinto que são apresentadas nas Tabelas 13, 14, 15, 16 e 17. Conhecendo a massa específica do ar ( $1,20\text{ kg/m}^3$ ) e utilizando a Equação 3.5 foi possível converter a vazão volumétrica em vazão mássica. Com todas essas informações e aplicando os valores de entalpia de ar externo e interno que são mostrados na Tabela 19 foi possível calcular a carga térmica devido a infiltração. Todos os resultados dos cálculos descritos anteriormente são apresentados na Tabela 28.

**Tabela 28. Transferência de calor por infiltração para cada recinto.**

<b>Recinto</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Vazão (kg/s)</b>	<b>Varição de entalpia (kJ/kg)</b>	<b>Carga térmica total (W)</b>
Sala de estudo 01, 02, 03 e sala dos técnicos	66,51	0,02064	31,95	659,56
Sala de estudo amplo	92,26	0,2863	31,95	914,88
Almoxarifado	83,16	0,02581	31,95	824,63
Bibliotecário	82,05	0,02547	31,95	813,64
Área de Acesso Comum	342,06	0,10616	31,95	3.391,97

Fonte: Autoria própria.

#### 5.4 CARGA TÉRMICA DEVIDO AS PESSOAS

Para o cálculo da carga térmica devido as pessoas foram levadas em consideração a situação mais crítica, considerando a ocupação máxima. Além disso, é necessário conhecer o calor por pessoas em função da atividade e o fator de carga de resfriamento. Todas essas informações são apresentadas nas Tabelas 20 e 21. Dessa maneira, foi possível calcular a carga térmica por pessoas utilizando a Equação 3.7. Na Tabela 29 a seguir é mostrada carga térmica devido a quantidade de pessoas para cada recinto estudado.

**Tabela 29. Transferência de calor devido a quantidade de pessoas para cada recinto.**

Recinto	Pessoas	Quantidade	Calor Sensível (W/pessoa)	CLF	Calor total (W)
Sala de estudo 01, 02 e 03 e sala dos técnicos	Sentadas, trabalho leve	4	75	1	300
Sala de estudo amplo	Sentadas, trabalho leve	4	75	1	300
Almoxarifado	Sentadas, trabalho leve	2	75	1	150
Bibliotecário	Sentadas, trabalho leve	3	75	1	225
Área de Acesso Comum	Sentadas, trabalho leve	63	75	1	4.725

Fonte: Autoria própria.

#### 5.5 CARGA TÉRMICA POR EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS

Nas Tabelas 22 e 23 são apresentadas a informações referentes a quantidade e a potência dos equipamentos, assim como o fator de uso, respectivamente. Com todos esses dados foi possível calcular a carga térmica por equipamentos eletrônicos por meio da Equação 3.9. O valor da carga térmica por equipamentos eletrônicos obtida na sala de estudo amplo é mostrado na Tabela 30 a seguir.

**Tabela 30. Transferência de calor por equipamentos eletrônicos para cada recinto.**

Recinto	Equipamento	Qnt.	Potência Unitária (W)	Fator de uso	Calor total (W)
Sala de estudo 01, 02 e 03 e sala dos técnicos	Computador <i>desktop</i>	4	135	0,8	432
Sala de estudo amplo	Computador <i>desktop</i>	4	135	0,8	432
Almoxarifado	Computador <i>desktop</i>	1	135	0,8	108
Bibliotecário	Computador <i>desktop</i>	3	135	0,8	324
Área de Acesso Comum	Computador <i>desktop</i>	63	135	0,8	6.804

Fonte: Autoria própria.

## 5.6 CARGA TÉRMICA POR ILUMINAÇÃO

Através dos dados das Tabelas 24 e 25 sabe-se a quantidade de lâmpadas no recinto, assim como a sua potência. Com isso, é possível calcular a carga térmica por iluminação utilizando a Equação 3.11. Na Tabela 31 a seguir é apresentado os resultados obtidos para a carga térmica por iluminação para cada recinto estudado.

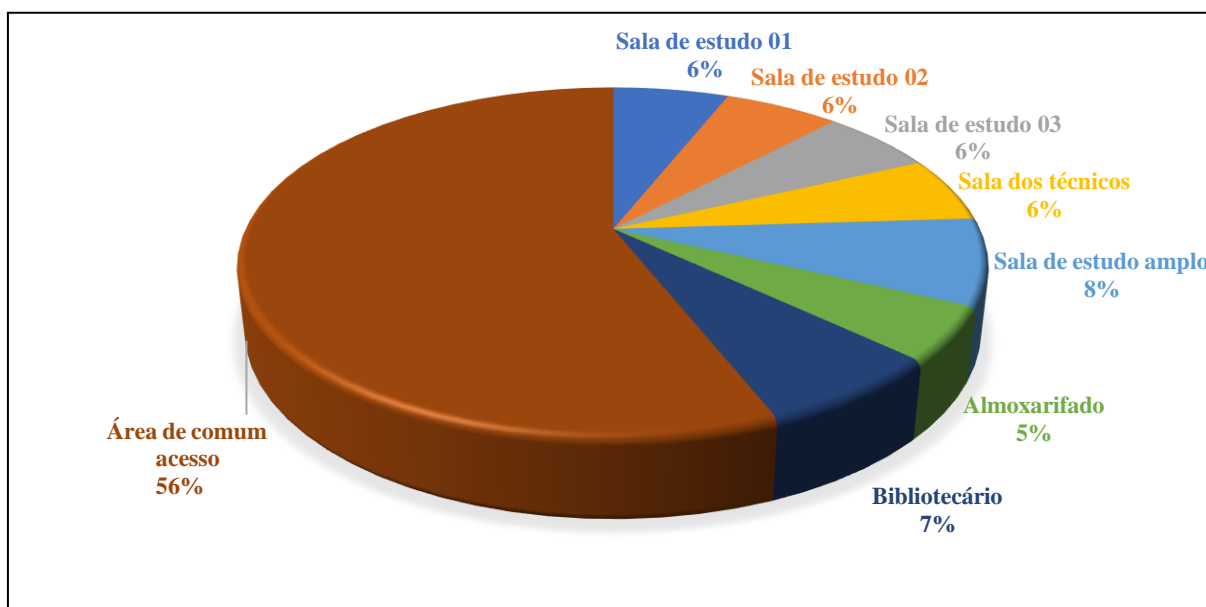
**Tabela 31. Transferência de calor por iluminação para cada recinto.**

Recinto	Qnt. de lâmpadas	Potência Unitária (W)	Fator de uso	Calor total (W)
Sala de estudo 01, 02 e 03 e sala dos técnicos	1	32	1	32
Sala de estudo amplo	1	32	1	32
Almoxarifado	1	32	1	32
Bibliotecário	1	32	1	32
Área de Acesso Comum	18	32	1	576

Fonte: Autoria própria.

## 5.7 CARGA TÉRMICA TOTAL

Os resultados referentes a carga térmica total em cada recinto da biblioteca são apresentados na Figura 15 e nas Tabelas 32 e 33 a seguir.



**Figura 15. Representação percentual corresponde a carga térmica total em cada recinto da biblioteca.**

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 32. Carga térmica total em cada recinto da biblioteca em watts.**

<b>CARGA TÉRMICA (W)</b>							
<b>Recinto</b>	<b>Transmissão</b>	<b>Insolação</b>	<b>Infiltração</b>	<b>Pessoas</b>	<b>Equip.</b>	<b>Ilum.</b>	<b>Total</b>
Sala de estudo 01	1.736,26	68,40	659,56	300,00	432,00	32,00	3.228,22
Sala de estudo 02	1.736,26	68,40	659,56	300,00	432,00	32,00	3.228,22
Sala de estudo 03	1.736,26	68,40	659,56	300,00	432,00	32,00	3.228,22
Sala dos técnicos	1.736,26	68,40	659,56	300,00	432,00	32,00	3.228,22
Sala de estudo amplo	2.373,66	889,73	914,88	300,00	432,00	32,00	4.942,26
Almoxarifado	1.847,90	0	824,63	150,00	108,00	32,00	2.962,53
Bibliotecário	2.038,45	443,40	813,64	225,00	324,00	32,00	3.876,49
Área de acesso comum	14.084,16	4.061,91	3.391,97	4.725,00	6.804,00	576,00	33.643,04
<b>Total</b>							<b>58.337,20</b>

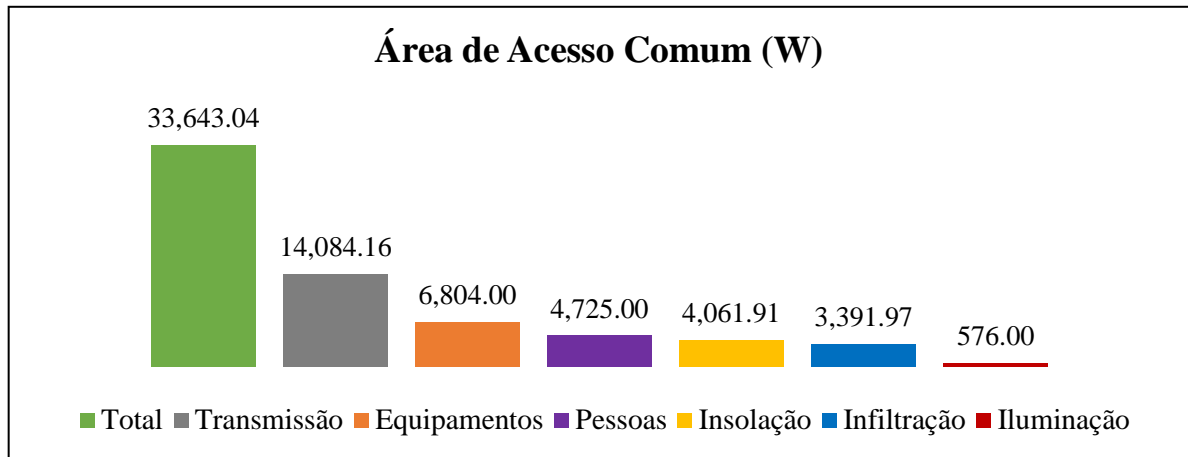
Fonte: Autoria própria.

**Tabela 33. Conversão da carga térmica total em Watts para BTU.**

<b>Recinto</b>	<b>Watts</b>	<b>BTU/h calculado</b>
Sala de estudo 01	3.228,22	11.015,14
Sala de estudo 02	3.228,22	11.015,14
Sala de estudo 03	3.228,22	11.015,14
Sala dos técnicos	3.228,22	11.015,14
Sala de estudo amplo	4.942,26	16.863,69
Almoxarifado	2.962,53	10.108,57
Bibliotecário	3.876,49	13.227,13
Área de acesso comum	33.643,04	114.794,82
<b>Total</b>	<b>58.337,20</b>	<b>199.054,77</b>

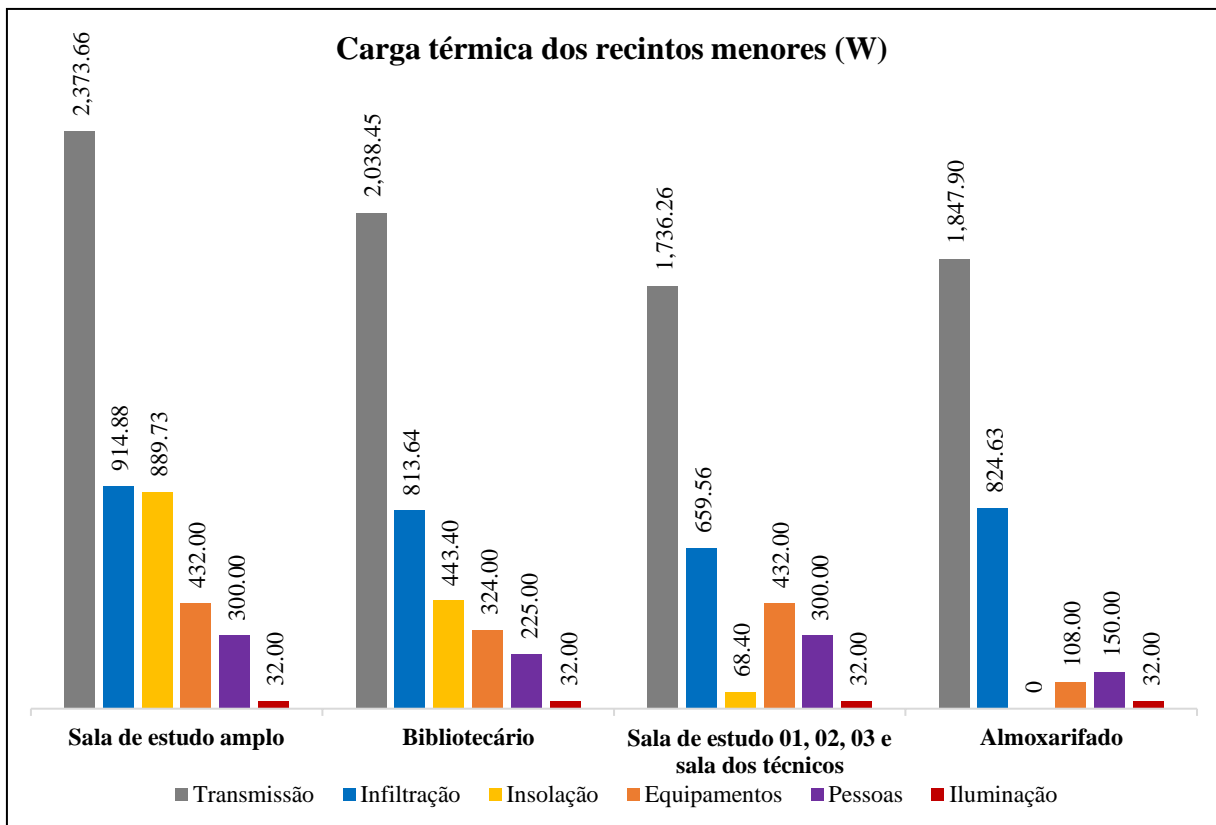
Fonte: Autoria própria.

De acordo com as Tabelas 32 e 33 e a Figura 15, a área de acesso comum apresentou a maior carga térmica em todos os requisitos, isso se deve ao fato que esse ambiente possui a maior área e apresenta o maior número de janelas, aberturas, pessoas, equipamentos eletrônicos e lâmpadas em relação aos demais recintos. A área do recinto é diretamente proporcional a carga térmica por transmissão de paredes opacas, isso explica o fato dessa carga térmica na área de acesso comum ser a maior entre as demais, conforme é apresentado na Figura 16 a seguir. Além disso, a sala de estudo 01, 02, 03 e a sala dos técnicos possuem as mesmas cargas térmicas devido apresentarem exatamente as mesmas características nos critérios citados anteriormente.



**Figura 16. Carga térmica da Área de Acesso Comum em Watts.**

Fonte: Autoria própria.



**Figura 17. Carga térmica dos recintos menores em Watts.**

Fonte: Autoria própria.

A transferência de calor por insolação está diretamente relacionada a quantidade e os aspectos construtivos da janela. No entanto, segundo a Figura 17, o almojarifado apresentou uma carga térmica por insolação igual a zero, pois como não existem janelas neste recinto e por isso, a influência dessa carga térmica é desconsiderada.

Todas as janelas da biblioteca possuem o mesmo tamanho. No entanto, de acordo com a Figura 17, entre os recintos menores, a sala de estudo amplo apresentou a maior carga térmica por insolação. Isso se deve ao fato de que esse recinto possui duas janelas, enquanto os outros

recintos menores contêm apenas uma janela. Além disso, uma de suas janelas está posicionada a oeste, nesta orientação o fator de ganho por insolação (SHGF) e o fator de carga de resfriamento em função do horário (CLF) apresentam os maiores valores. Esses fatores influenciaram diretamente nesse valor significativo da carga térmica por insolação na sala de estudo amplo.

Na Figura 17, o almoxarifado apresentou a menor carga térmica por equipamentos, uma vez que a carga térmica por equipamentos é diretamente proporcional ao número de equipamentos. Este recinto possui apenas um equipamento eletrônico. Vale ressaltar que foi considerado que o número de equipamento está relacionado ao número de pessoas no ambiente, como este recinto foi projetado para receber a maior parte do tempo uma pessoa, então supõe-se que esta pessoa pode utilizar um equipamento eletrônico no local, no caso um computador *desktop*.

## 5.8 SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE AR CONDICIONADO

Através dos cálculos da carga térmica, é possível selecionar os equipamentos mais adequados para cada cômodo. Como não há a potência calculada exatamente no mercado, foi necessário escolher a potência superior mais próxima possível para evitar o superdimensionamento.

Uma boa alternativa para realizar a climatização da biblioteca seria a utilização de sistemas de dutos de climatização. Entretanto, como as vigas do prédio se encontram na altura do forro torna-se inviável a utilização de tubulações de ar, visto que não há espaço interno suficiente para a instalação dos dutos através da biblioteca, conforme é mostrado na Figura 18.



**Figura 18. Disposição da viga na biblioteca.**

Fonte: Autoria própria.

Segundo IEI (2018), os ar condicionados modelo piso-teto são indicados para ambientes de médio e grande porte e possuem um alcance de vazão de ar maior se comparado com os modelos *hi wall*. No entanto, os modelos piso-teto são mais robustos e consomem mais energia elétrica. Por isso, o modelo de ar-condicionado do tipo Split *high wall* foi o escolhido para este projeto, devido ao seu bom rendimento associado aos baixos custos de instalação, manutenção e consumo de energia. No mercado atualmente vem sendo difundido a tecnologia inverter. Segundo a IEI (2018), são equipamentos com um preço um pouco mais elevado se comparado com os aparelhos convencionais, todavia estes consomem menos energia elétrica o que compensa esse investimento de médio a longo prazo. De acordo com os fabricantes essa economia de consumo de energia gira entorno de 30% a 60%.

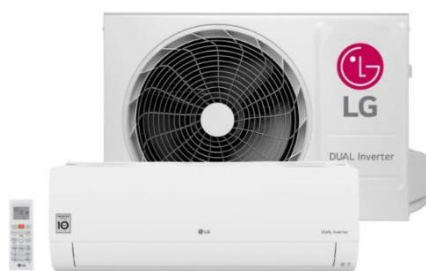
A partir da pesquisa de mercado nas lojas de eletrodomésticos, adquiriu-se a base necessária para selecionar as potências dos equipamentos de ar condicionado e obter seus respectivos preços. Portanto, para a sala de estudo 01, 02 e 03, sala dos técnicos e almoxarifado indica-se a instalação de aparelhos de 12.000 BTU/h; para a sala de estudo amplo e bibliotecário indica-se a instalação de aparelhos de 18.000 BTU/h; por sua vez, para a área de acesso comum indica-se a instalação de 4 aparelhos de 36.000 BTU/h. Optou-se por aparelhos de mesma potência para ambas as salas, tendo em vista a mantabilidade do sistema. O orçamento referente a quantidade e o preço dos equipamentos, assim como seu respectivo valor de instalação está estimado em aproximadamente R\$ 60.000,00, conforme é apresentado na Tabela 34 a seguir.

**Tabela 34. Orçamento da aquisição dos equipamentos de ar condicionado.**

Recinto	BTU calculado	BTU designado	Qnt	Preço unitário	Preço de instalação	Preço total
Sala de estudo 01	11.015,14	12.000	1	R\$ 2.113,30	R\$ 400,00	R\$ 2.513,30
Sala de estudo 02	11.015,14	12.000	1	R\$ 2.113,30	R\$ 400,00	R\$ 2.513,30
Sala de estudo 03	11.015,14	12.000	1	R\$ 2.113,30	R\$ 400,00	R\$ 2.513,30
Sala dos técnicos	11.015,14	12.000	1	R\$ 2.113,30	R\$ 400,00	R\$ 2.513,30
Sala de estudo amplo	16.863,69	18.000	1	R\$ 2.799,00	R\$ 700,00	R\$ 3.499,00
Almoxarifado	10.108,57	12.000	1	R\$ 2.113,30	R\$ 400,00	R\$ 2.513,30
Bibliotecário	13.227,13	18.000	1	R\$ 2.799,00	R\$ 700,00	R\$ 3.499,00
Área de acesso comum	114.794,82	36.000	4	R\$ 7.159,00	R\$ 1.000,00	R\$ 38.559,96
<b>Total</b>						R\$ 58.124,46

Fonte: Autoria própria.

As características, como modelo e potência, de cada equipamento de ar condicionado selecionado para recinto são apresentadas nas Figuras 19, 20 e 21 a seguir.



**Figura 19. Ar condicionado Split LG Dual Inverter Voice Frio 12.000 BTU - 220V.**  
 Fonte: Site da LG.

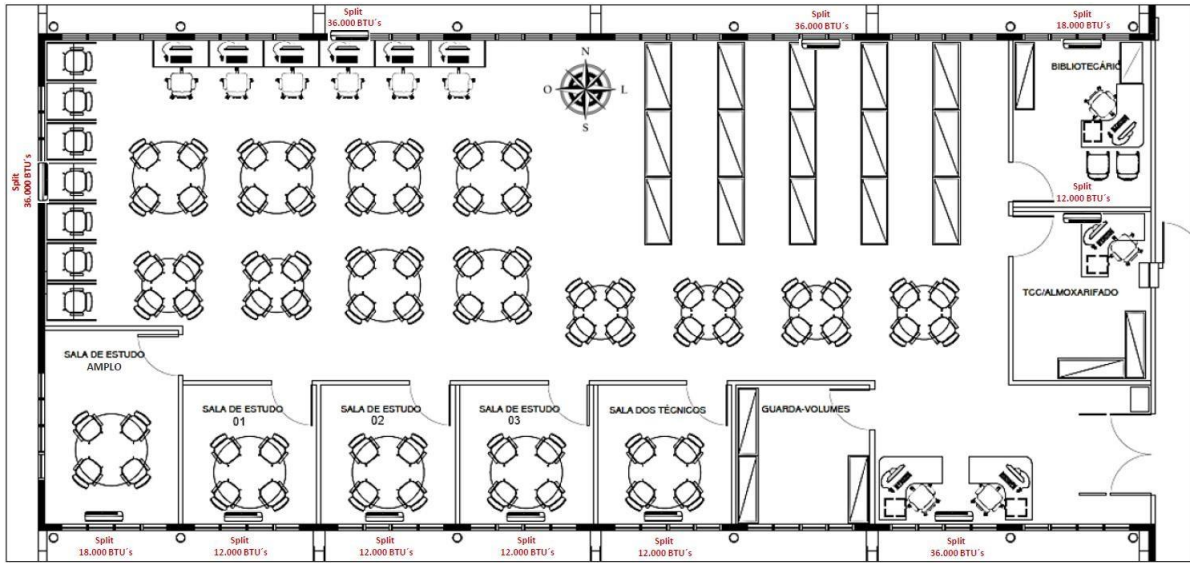


**Figura 20. Ar Condicionado Split Hw Dual Inverter Voice LG 18000 BTU Frio 220V Monofásico.**  
 Fonte: Site da LG.



**Figura 21. Ar Condicionado Split Hi Wall Inverter 36.000 BTU Frio 220V.**  
 Fonte: Site da AMERICANAS.

Na Figura 22 é mostrada a planta baixa da biblioteca com os ar condicionados em suas devidas posições e potências em cada recinto. Vale ressaltar que para este projeto optou-se em utilizar 4 aparelhos de ar condicionado Split de 36.000 BTU espalhados ao redor da área de acesso comum, uma vez que ocorre uma melhor circulação de ar no recinto, ou seja, de maneira mais uniforme em todo este ambiente.



**Figura 22. Projeto da rede de ar condicionado da biblioteca.**

Fonte: Autoria própria.

## 6 CONCLUSÕES

As informações e ferramentas utilizadas para se obter um bom dimensionamento de um projeto de climatização são muito importantes, visto que os mesmos diminuem custos e o consumo de energia elétrica, mas sempre garantindo um bom conforto térmico de todos os ocupantes do local estudado.

Dos resultados obtidos pode-se concluir que a maior parcela do ganho térmica introduzida em cada recinto da biblioteca se dá pela transmissão de calor por paredes opacas, ou seja, a área de cada recinto influenciou significativamente nos cálculos de carga térmica. A área de acesso comum apresentou a maior carga térmica em todos os requisitos totalizando uma potência de 33.643,04 W (114.794,82 BTU), isso representa 56% da carga térmica total em relação a todos os recintos estudados.

A sala de estudo 01, 02, 03 e a sala dos técnicos apresentaram as mesmas cargas térmicas, pois apresentam a mesma área e o mesmo número de janelas, aberturas, pessoas, equipamentos eletrônicos e lâmpadas. A carga térmica por insolação do almoxarifado foi desconsiderada, pois como não há janelas neste recinto. Além disso, entre os recintos menores, a sala de estudo amplo apresentou a maior carga térmica por insolação, uma vez que esse recinto possui duas janelas, enquanto os outros recintos menores contêm apenas uma janela.

Neste trabalho foi escolhido o sistema de ar condicionados do tipo Split devido ao seu ótimo custo/benefício. No total são necessários 11 ar condicionados na biblioteca e o orçamento para aquisição de todos os equipamentos de ar condicionado juntamente com a instalação dos mesmos está estimado em R\$ 60.000,00.

Diante das informações expostas ao longo deste trabalho, conclui-se que o objetivo principal foi atingido, o dimensionamento da carga térmica para a biblioteca do centro universitário de Tucuruí em questão, seguindo as normas pré-estabelecidas e realizando considerações para que se chegasse em resultados confiáveis.

### 6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base neste projeto, pode-se sugerir alguns tópicos para continuidade e melhoramento deste estudo, conforme a seguinte relação:

- Elaborar um plano de manutenção para os aparelhos de ar condicionado selecionados;
- Realizar uma avaliação mais detalhada de termos de circulação de pessoas na biblioteca para refinar o dimensionamento;
- Dimensionamento de sistema solar fotovoltaico para compensação da energia elétrica gasta com climatização de ar na biblioteca.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING. **ASHRAE Handbook: Fundamentals**. Atlanta: ASHRAE, 2017.

AMERICANAS. **Ar Condicionado Split Hi Wall Inverter 36K Btus Frio 220V**. Disponível em: <<https://www.americanas.com.br/produto/3926463990?opn=YSMESP&voltagem=220V>>. Acesso em 09 de dezembro de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401**: Instalações de ar-condicionado. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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.

CARVALHO, M. T. S. **FATORES QUE INFLUENCIAM NO CONFORTO TÉRMICO NO AMBIENTE DO TRABALHO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Ponta Grossa, 2018.

COPETTI, J. B. **Transferência de calor**. Disponível em: <[http://professor.unisinos.br/jcopetti/transcal\\_ppg/Introducao\\_2016.pdf](http://professor.unisinos.br/jcopetti/transcal_ppg/Introducao_2016.pdf)>. Acesso em: 20 de janeiro de 2022.

CREDER, H. **Instalações de ar condicionado**. Tradução. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2004.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGETICA. **Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética**. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030\\_2018\\_18Dez2018.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf)>. Acesso em: 20 de janeiro de 2022.

GOOGLE. 2021. Tucuruí. [s.l.]: **Google Maps**. Disponível em <<https://goo.gl/maps/pHzGYz5w2m6f2DDW9>>. Acesso em: 20 de outubro de 2021.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

IEI. **QUAIS OS TIPOS DE ARES-CONDICIONADOS SPLIT?** São Paulo, 29 de maio de 2018. Disponível em: <<https://iei-brasil.org/2018/05/29/tipos-split/>>. Acesso em 06 de dezembro de 2021.

INCROPERA, F.P., BERGMAN, T.L., LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 8ª ed. Editora LTC, Rio de Janeiro-RJ, 2019.

LG. **LG DUAL Inverter VOICE 12.000 Frio 220V**. Disponível em: <<https://www.lg.com/br/ar-condicionado-residencial/lg-S4-Q12JA31C>>. Acesso em 09 de dezembro de 2021.

**LG. LG DUAL Inverter VOICE 18.000 Frio 220V.** Disponível em: <<https://www.lg.com/br/ar-condicionado-residencial/lg-S4-Q18KL31A>>. Acesso em 09 de dezembro de 2021.

**MATOS, R. S. CLIMATIZAÇÃO: CARGA TÉRMICA EM CLIMATIZAÇÃO.** Paraná, 2010. Disponível em: <[https://docs.ufpr.br/~rudmar/clima/material/5\\_CARGA%20TERMICA%20EM%20CLIMATIZACAO.pdf](https://docs.ufpr.br/~rudmar/clima/material/5_CARGA%20TERMICA%20EM%20CLIMATIZACAO.pdf)>. Acesso em: 20 de janeiro de 2022.

**PIRANI, M. J. Refrigeração e Ar Condicionado.** Universidade Federal da Bahia, 2004.

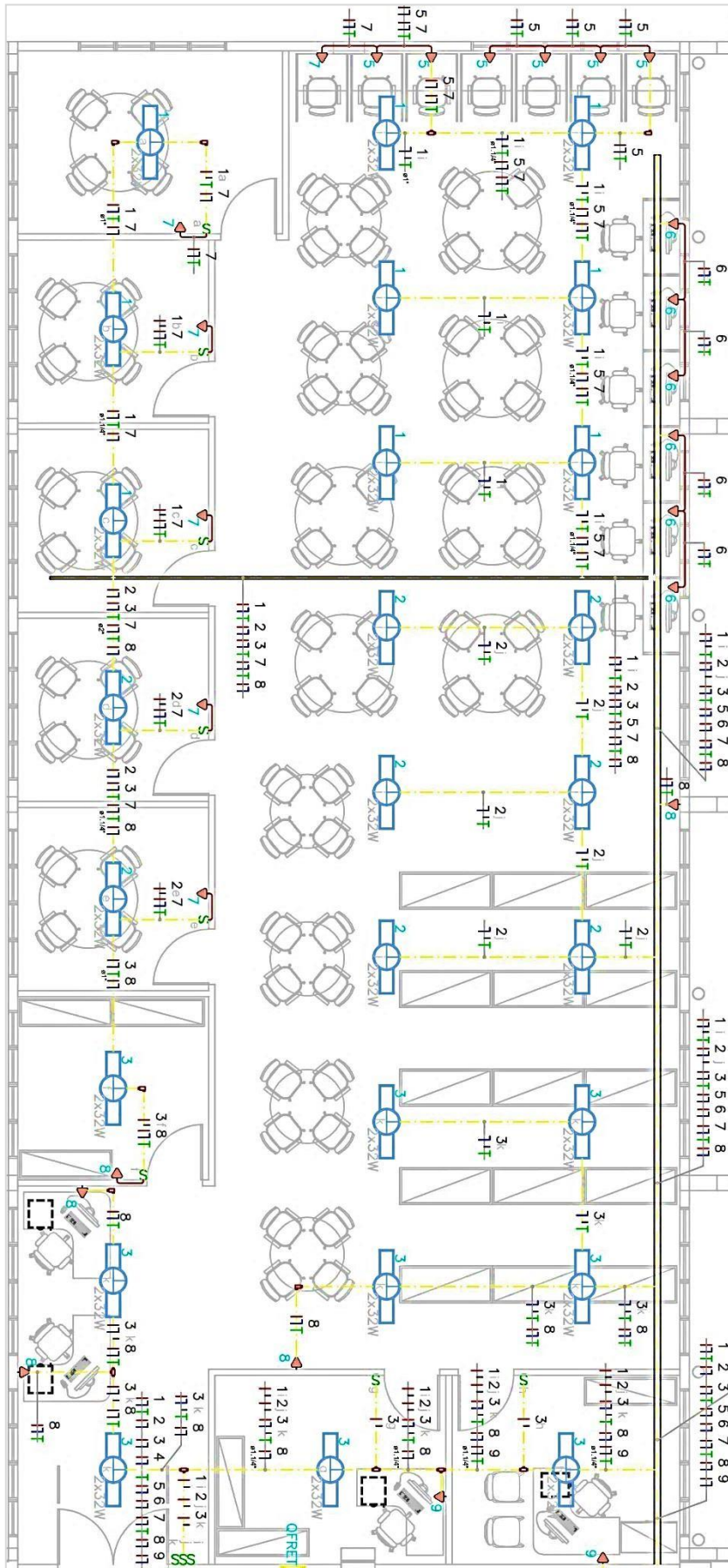
**RIGA, L. Parcelas da carga térmica do ar condicionado.** São Paulo, 11 de agosto de 2018. Disponível: <<http://rigarefrigeracao.com.br/cursos-riga/>>. Acesso em 04 de dezembro de 2021.

**RODRIGUES, E. Conforto térmico das construções: Processos de Transmissão de Calor.** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2010.

**UFPA. Plano de Desenvolvimento do Campus Universitário de Tucuruí – CAMTUC 2017-2020.** Tucuruí, 31 de outubro de 2017. Disponível em: <<https://www.camtuc.ufpa.br/index.php/2015-01-15-17-35-03>>. Acesso em 14 de outubro de 2021.

**VIANA, F. C. A. MODELAGEM, SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR PURAMENTE DESSECANTE, POR COMPRESSÃO DE VAPOR E HÍBRIDO.** Paraíba: João Pessoa, 2017.

# ANEXO A – PROJETO ELÉTRICO DE ILUMINAÇÃO E TOMADAS



# ANEXO B – PROJETO DA REDE DE AR CONDICIONADO DA BIBLIOTECA

