

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL LEITE GOMES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO
MULTIFAMILIAR EM GUARAPUAVA – PR POR MEIO DE SIMULAÇÕES
COMPUTACIONAIS: ESTUDO DE CASO**

GUARAPUAVA

2022

GABRIEL LEITE GOMES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO
MULTIFAMILIAR EM GUARAPUAVA – PR POR MEIO DE SIMULAÇÕES
COMPUTACIONAIS: ESTUDO DE CASO**

**ASSESSMENT OF THE THERMAL PERFORMANCE OF A MULTI-FAMILY
BUILDINGS IN GUARAPUAVA – PR BY MEANS OF COMPUTATIONAL
SIMULATIONS: A CASE STUDY.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro.

GUARAPUAVA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GABRIEL LEITE GOMES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO
MULTIFAMILIAR EM GUARAPUAVA – PR POR MEIO DE SIMULAÇÕES
COMPUTACIONAIS: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 12 de dezembro de 2022

Rodrigo Scoczynski Ribeiro
Doutor em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rubia Mara Bosse
Doutora em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ana Cláudia Menoncin Loper
Mestra em Engenharia Civil

GUARAPUAVA

2022

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família, principalmente meus pais que estiveram comigo desde o início de minha jornada acadêmica, sempre me dando suporte para correr atrás de meus objetivos, sem vocês eu jamais conseguiria alcançar esse meu sonho. Agradeço também meu irmão, tios, minha vó e todos os meus familiares que sempre torceram por mim nessa caminhada.

Agradecer imensamente minha namorada que sempre me deu apoio nos momentos mais difíceis, sempre fazendo com que eu acreditasse em mim mesmo e não deixando com que eu desistisse em momento algum, você foi fundamental para que eu chegasse aqui hoje.

Agradeço também meus amigos, aqueles que estão comigo desde o começo dessa trajetória e também as amizades que ganhei ao longo do caminho e levarei pra toda a vida.

Por fim agradeço o meu orientador Prof Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro que em todos os momentos de dificuldade durante o trabalho me deu suporte e sempre foi solícito em me ajudar.

RESUMO

A preocupação com a qualidade das edificações e o desempenho térmico que elas oferecem aos seus moradores é um assunto que, com o passar do tempo e com a evolução dos sistemas construtivos, está sendo cada vez mais comentado e posto em pauta. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar, de acordo com os critérios dispostos na ABNT NBR 15575-1, o desempenho térmico de uma edificação multifamiliar, localizada no município de Guarapuava – PR, por meio de simulações computacionais, utilizando três programas de computador: SketchUp Pro 2022, Open Studio e Energy Plus. As simulações foram feitas para o primeiro pavimento, pavimento tipo e para o pavimento de cobertura da edificação de estudo. A partir da análise dos dados gerados pelos programas, foram encontrados resultados satisfatórios para todos os pavimentos analisados, os quais atenderam aos critérios e requisitos dispostos na ABNT NBR 15575-1 para desempenho térmico.

Palavras-chave: Desempenho térmico; Edificação multifamiliar; Pavimento; Simulações computacionais.

ABSTRACT

The concern with the quality of buildings and the thermal development that they bring to residents is an issue that, over the years and with the evolution of buildings systems, has been more commented and put on the agenda. For this reason, the present work aims evaluate, according of criteria in the ABNT NBR 15575-1, the thermal performance of a multi-family building in Guarapuava – PR, by means of computational simulations, using three computational programs: SketchUp Pro 2022, Open Studio e Energy Plus. The simulations took place for the first floor, floor type and roof floor of the building. From the generated data by programs, satisfactory results were found to all the analyzed floors, which met the criteria and requirements established in ABNT NBR 15575-1 for thermal development.

Keywords: Thermal development; Multi-family building; Floor; Computational simulations.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Zoneamento bioclimático brasileiro	18
Figura 2 - Temperatura média anual no estado do Paraná.....	18
Figura 3 – Empreendimento estudado	22
Figura 4 - Primeiro pavimento Edifício Florença – apartamentos 101 e 102.....	23
Figura 5 - Primeiro pavimento Edifício Florença - salão de festas	23
Figura 6 - Pavimento tipo Edifício Florença – apartamentos 203 e 204.....	24
Figura 7 - Pavimento tipo Edifício Florença – apartamentos 201 e 202.....	24
Figura 8 - Fluxograma procedimento de avaliação de desempenho térmico	26
Figura 9 - Modelagem pavimento 1º piso	35
Figura 10 - Modelagem pavimento tipo	36
Figura 11 - Modelagem da cobertura.....	36
Figura 12 - Geometria do pavimento tipo no software Open Studio	37
Figura 13 - Parâmetros de permanência de pessoas nos dormitórios.....	38
Figura 14 - Parâmetros de permanência de pessoas na sala.....	39
Figura 15 - Parâmetros de utilização de iluminação artificial para os dormitórios	39
Figura 16 - Parâmetros de utilização de iluminação artificial para a sala	40
Figura 17 - Parâmetros de utilização de equipamentos.....	40
Figura 18 - Propriedades do bloco cerâmico.....	41
Figura 19 - Caracterização dos materiais.....	42
Figura 20 - Definição dos componentes da estrutura.....	43
Figura 21 - Caracterização do sistema construtivo.....	43
Figura 22 - Definição de zonas térmicas e ventilação natural.....	44
Figura 23 - Definição das propriedades de cada espaço.....	44
Figura 24 - Seleção de variáveis a serem analisadas	45
Figura 25 - Inserção de pessoas nos ambientes	46
Figura 26 - Definição da potência de luz instalada em cada APP	47
Figura 27 - Inserção da potência do equipamento	47
Figura 28 - Inserção de parâmetros de ventilação para janelas e portas.....	48
Figura 29 - Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do primeiro pavimento (sala/cozinha).....	51
Figura 30 - Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do primeiro piso (dormitório)	52
Figura 31 Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do primeiro piso (suíte)	52
Figura 32 - Percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa primeiro piso	53
Figura 33 - Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do pavimento tipo (sala/cozinha).....	60
Figura 34 - Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do pavimento tipo (dormitório)	61

Figura 35 - Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do pavimento tipo (suíte)	61
Figura 36 - Percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa pavimento tipo	63
Figura 37 - Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do pavimento de cobertura (sala/cozinha)	71
Figura 38 - Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do pavimento de cobertura (dormitório).....	71
Figura 39 - Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do pavimento de cobertura (suíte)	72
Figura 40 - Percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa pavimento de cobertura	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Temperaturas mínimas mensais e mínimas absolutas para o município de Guarapuava - PR	19
Quadro 2 - Temperaturas máximas mensais e máximas absolutas para o município de Guarapuava - PR	19
Quadro 3 – Umidade relativa do ar para o município de Guarapuava - PR.....	20
Quadro 4 – Insolação para o município de Guarapuava - PR.....	21
Quadro 5 - Propriedades térmicas de paredes e pisos para o modelo de referência	32
Quadro 6 - Propriedades térmicas da cobertura para o modelo de referência..	32
Quadro 7 - Características dos elementos transparentes nas esquadrias para o modelo de referência	33
Quadro 8 - Percentual de abertura para ventilação nas esquadrias para o modelo de referência	34
Quadro 9 - Período de uso, densidade de cargas internas e fração radiante para equipamentos APP.....	35
Quadro 10 - Temperaturas operativas máximas e mínimas primeiro piso.....	54
Quadro 11 - Temperaturas operativas máximas e mínimas pavimento tipo.....	64
Quadro 12 - Temperaturas operativas máximas e mínimas pavimento de cobertura.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Intervalos de temperaturas externas de bulbo seco	28
Tabela 2 - Faixas de temperaturas operativas para a determinação do PHFTAPP	28
Tabela 3 - Critério de avaliação de desempenho térmico da envoltória quanto ao PHFTUH.....	29
Tabela 4 -Descrição dos parâmetros da ventilação natural para as portas e janelas nos APP e APT	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo geral.....	12
2.2	Objetivos específicos.....	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	Análise térmica das edificações	13
3.1.1	NBR 15575:2021	13
3.1.2	NBR 15220	13
3.2	Conforto térmico	14
3.2.1	Definições importantes	14
<u>3.2.1.1</u>	<u>Capacidade térmica.....</u>	<u>14</u>
<u>3.2.1.2</u>	<u>Resistência térmica</u>	<u>15</u>
<u>3.2.1.3</u>	<u>Transmitância térmica</u>	<u>15</u>
<u>3.2.1.4</u>	<u>Condutividade térmica.....</u>	<u>16</u>
<u>3.2.1.5</u>	<u>Calor específico.....</u>	<u>16</u>
<u>3.2.1.6</u>	<u>Emissividade e absorvância.....</u>	<u>16</u>
3.3	Caracterização da região de estudo	17
3.3.1	Zona bioclimática.....	17
3.3.2	Temperatura	18
3.3.3	Umidade relativa do ar	20
3.3.4	Insolação	20
4	MATERIAS E MÉTODOS	22
4.1	Apresentação da edificação de estudo	22
4.2	Metodologia	25
4.2.1	Procedimentos para simulações computacionais.....	25
4.2.2	Arquivo climático e requisitos de desempenho térmico da envoltória	27
<u>4.2.2.1</u>	<u>Parâmetros modelo real</u>	<u>32</u>
<u>4.2.2.2</u>	<u>Parâmetros modelo de referência</u>	<u>32</u>
4.2.3	Modelagem da ocupação e das cargas internas	34
4.2.4	Modelagem da unidade habitacional	35
<u>4.2.4.1</u>	<u>Modelagem real.....</u>	<u>35</u>
<u>4.2.4.2</u>	<u>Modelagem de referência</u>	<u>36</u>
4.2.5	Open Studio	37

4.2.5.1	Exportação da geometria	37
4.2.5.2	Modelos reais	37
4.2.5.3	Modelos de referência	45
4.2.6	Energy Plus	45
5	RESULTADOS.....	49
5.1.1	Pavimento primeiro piso	49
5.1.2	Pavimento tipo	56
5.1.3	Pavimento de cobertura	67
6	CONCLUSÃO	78
	REFERÊNCIAS.....	79
	ANEXO 1.....	81
	ANEXO 2.....	82
	ANEXO 3.....	85
	ANEXO 4.....	86
	ANEXO 5.....	87

1 INTRODUÇÃO

Com o grande aumento de construções de moradias no Brasil a tendência é a busca por métodos construtivos mais rápidos e baratos. Sendo assim, torna-se necessário e de extrema importância a verificação quanto aos critérios dispostos nas Normas Brasileiras (NBRs), para se garantir a qualidade das construções e consequentemente trazer segurança e conforto ao usuário.

Segundo Sorgato (2014) a aplicação de algumas tecnologias na construção civil, por vezes, tem trazido à tona dúvidas e questionamentos sobre a qualidade das edificações. No entanto é de comum acordo que as edificações devem atender requisitos de segurança e trazer um conforto mínimo para os seus habitantes, de maneira que atenda suas necessidades.

De acordo com Souza (2017) para se assegurar a qualidade de vida aos seres humanos, as construções devem ser idealizadas de forma que atendam níveis aceitáveis de conforto ambiental, pois a população é frequentemente exposta às temperaturas fora dos padrões aceitáveis.

Dentre os ramos do conforto ambiental, esse trabalho tem como enfoque o desempenho térmico. O conceito de desempenho térmico de uma edificação, segundo Gonçalves (2004), corresponde à resposta da habitação, em termos de parâmetros climáticos internos, em relação ao clima da área em que se encontra

A metodologia ABNT NBR 15575:2013 para avaliação do desempenho térmico sofreu diversas críticas ao longo dos anos. Por este motivo, um novo texto foi proposto, avaliado e aprovado em consulta pública em janeiro de 2021 e já está publicado (PEIXOTO e SOUZA, 2022).

Dessa forma, em busca de proporcionar melhoria na qualidade de vida dos usuários, esse trabalho tem o intuito de, a partir de simulações térmicas em diferentes programas computacionais, analisar termicamente uma edificação localizada na cidade de Guarapuava – PR, seguindo a norma NBR 15575:2021.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho térmico de uma edificação multifamiliar localizada em Guarapuava – PR, conforme NBR 15575:2021, por meio de simulações em diferentes programas computacionais.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar os aspectos relevantes sobre desempenho térmico;
- Apresentar os aspectos climáticos da localidade de estudo;
- Desenvolver um modelo computacional da edificação por meio do programa SketchUp Pro 2022;
- Analisar o desempenho térmico do primeiro pavimento, do pavimento tipo e do pavimento de cobertura da edificação de estudo por meio dos softwares Open Studio e Energy Plus;
- Avaliar os resultados obtidos para os três pavimentos estudados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Análise térmica das edificações

No Brasil, as principais normas que abordam esse tema são a NBR 15220 – Desempenho Térmico das Edificações (ANBT, 2005) e a NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2021).

3.1.1 NBR 15575:2021

No Brasil, a norma de desempenho para edificações habitacionais é a ABNT NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2021). Essa norma está subdividida em 6 partes, sendo abordado o desempenho térmico nas partes: 1, 4 e 5.

- Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais;
- Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE;
- Edificações habitacionais — Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas.

3.1.2 NBR 15220

Para o desenvolvimento desse trabalho utilizaremos também a NBR 15220 – Desempenho Térmico das Edificações (ANBT, 2005) que está subdividida em 5 partes, sendo elas:

- Desempenho Térmico das Edificações – Parte 1: Definições, Símbolos e Unidades;
- Desempenho Térmico das Edificações – Parte 2: Componentes e elementos construtivos das edificações – Resistência e transmitância térmica – Métodos de cálculo (ISSO 6946:2017 MOD);
- Desempenho Térmico das Edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Desempenho Térmico das Edificações – Parte 4: Medição de resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;

- Desempenho Térmico das Edificações – Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

O presente trabalho acadêmico utilizará a NBR 15220 – Desempenho Térmico das Edificações – Parte 1: Definições, Símbolos e Unidades e NBR 15220 – Desempenho Térmico das 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.

3.2 Conforto térmico

3.2.1 Definições importantes

O conceito de conforto térmico se dá na satisfação do ser humano com o ambiente térmico no qual ele está inserido. A não satisfação pode se dar pelo contato com o frio ou o calor e isso ocorre quando o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente não estão em equilíbrio (DUARTE, 2016). O autor ainda afirma que:

Conforto térmico, tomado como uma sensação humana, está situado no campo subjetivo e depende, além de fatores físicos, de fatores fisiológicos e psicológicos. Os fatores físicos determinam as trocas de calor do corpo com o meio; já os fatores fisiológicos referem-se a alterações na resposta fisiológica do organismo, resultantes da exposição contínua a determinada condição térmica; e finalmente os fatores psicológicos, que são aqueles que se relacionam às diferenças na percepção e na resposta a estímulos sensoriais, frutos da experiência passada e da expectativa do indivíduo (DUARTE, 2016, p. 6).

A seguir serão descritas algumas definições relevantes para o desenvolvimento deste trabalho e para uma boa compreensão do objeto de estudo.

3.2.1.1 Capacidade térmica

Segundo a ABNT NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais (ABNT, 2021, p. 7) a capacidade térmica é a quantidade de calor necessária para variar, em uma unidade, a temperatura de um sistema. Sendo definida pela Equação 1 em conformidade com a ABNT NBR 15520-2.

$$C_T = \sum_{i=1}^n \gamma_i * R_i * c_i * p_i = \sum_{i=1}^n e_i * c_i * p_i \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

γ_i : condutividade térmica do material (W/mK);

R_i : resistência térmica do material (m²K/W);

e_i : espessura da camada (cm);

c_i : calor específico do material (kJ/kgK);

ρ_i : densidade de massa aparente do material (kg/m³).

3.2.1.2 Resistência térmica

Segundo a ABNT NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Parte 1: Requisitos Gerais Desempenho (ABNT, 2021, p. 16) a resistência térmica é o quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário.

A resistência térmica de um dado material é sua propriedade em resistir a passagem do calor. Quanto maior a espessura do material, maior será a resistência que ele oferece a passagem de calor.

Para se efetuar o cálculo da resistência térmica de um material homogêneo utiliza-se a Equação 2 apresentada na ABNT NBR 15220 – 2.

$$R = \frac{e}{\gamma} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

R : resistência térmica (m²K/W);

e : espessura (cm)

γ : condutividade térmica (W/mK).

3.2.1.3 Transmitância térmica

A transmitância térmica segundo a ABNT NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais (ABNT, 2021, p.17) é a transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes. Podemos então dizer que é a quantidade de calor que um elemento transmite de uma face a outra de um determinado componente construtivo, seja ele uma parede, vidro, cobertura ou qualquer outro elemento construtivo.

Para se efetuar o cálculo da transmitância térmica utiliza-se a Equação 3 apresentada na ABNT NBR 15220 – 2.

$$U = \frac{1}{R} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

U: transmitância térmica (W/m²K);

R: resistência térmica (m²K/W);

3.2.1.4 Condutividade térmica

A condutividade térmica segundo a ABNT NBR 15575 – 1 é a propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, na qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m², quando esse material é submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 K/m (ABNT, 2021, p. 7). Quanto maior a condutividade térmica maior será a transferência de calor entre a sua superfície e, conseqüentemente, menor será sua resistência térmica.

3.2.1.5 Calor específico

Uma definição simples pode ser dada assim: o calor específico é a quantidade de calor que deve ser transferida a 1g de uma substância para que a sua temperatura seja elevada em 1°C. Como se sabe, essa quantidade de calor varia de substância para substância e, então, o calor específico é um parâmetro que caracteriza uma dada substância (ALBUQUERQUE, et al., 1980). Esse valor pode ser tanto positivo quanto negativo, o valor positivo significa que o corpo está recebendo calor, já o valor negativo demonstra que o corpo está liberando calor e conseqüentemente baixando sua temperatura.

3.2.1.6 Emissividade e absorptância

A emissividade é o quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, estando a mesma temperatura (ABNT, 2021, p. 10). É a propriedade física dos materiais que determina a quantidade de energia térmica que é emitida por uma unidade de tempo (LAMBERT; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 209).

Já a absorvância é definida pela ABNT NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais (ABNT, 2021, p. 6) como o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre a mesma superfície. Os materiais são seletivos a radiação solar e as suas cores superficiais afetam diretamente na absorvância, um material escuro absorverá maior quantidade de radiação incidente do que um material claro (LAMBERT; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 209).

3.3 Caracterização da região de estudo

Guarapuava é um município localizado no Paraná que se encontra na região centro-sul do estado, o município está no trajeto entre a cidade de Curitiba e Foz do Iguaçu, nas margens da BR 277, principal Rodovia do Mercosul, que liga o Porto de Paranaguá ao Paraguai e à Argentina (GUARAPUAVA, 2020).

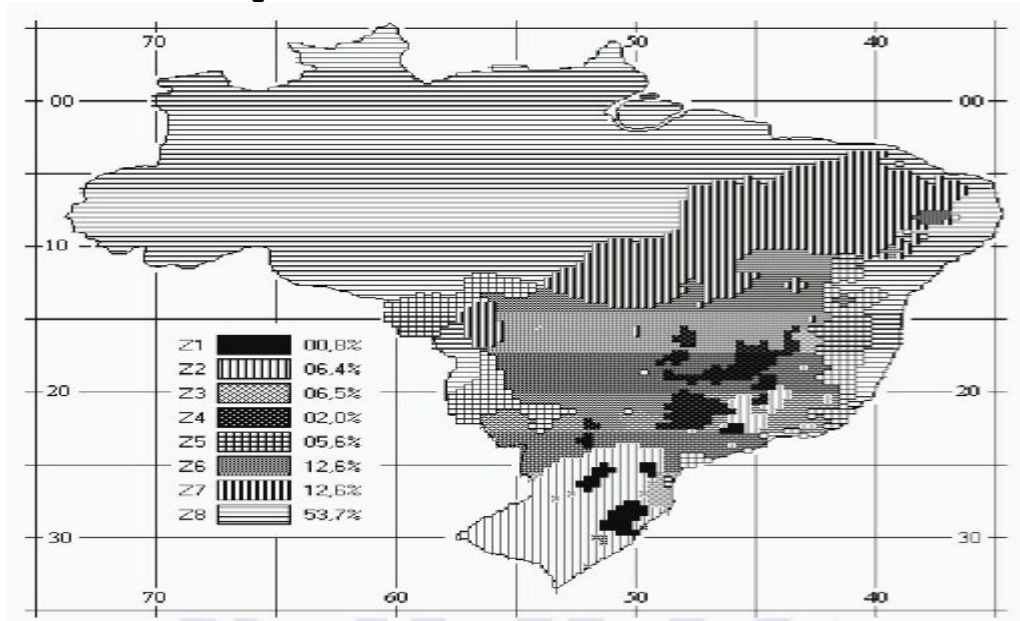
Levando em consideração que a edificação estudada se encontra em Guarapuava, nos próximos tópicos serão apresentados alguns pontos importantes para o desenvolvimento do trabalho.

3.3.1 Zona bioclimática

Segundo a ABNT NBR 15220 – Desempenho Térmico das Edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2021, p. 17) o Brasil está subdividido em oito zonas bioclimáticas que foram divididas dessa forma após análise de dados climáticos. Para cada uma dessas zonas foi formulado um conjunto de recomendações técnico-construtivas, com o intuito de melhorar o desempenho térmico das edificações.

De acordo com a ABNT NBR 15220 – 3 (2005) Guarapuava está localizada na região bioclimática 1, a qual é considerada a mais fria. Ter conhecimento sobre as características climáticas do município é de extrema importância para o desenvolvimento do trabalho pois está intimamente ligada as condições de desempenho térmico. Na Figura 1 é possível visualizar a divisão das zonas bioclimáticas brasileiras e a porcentagem que cada uma representa no território nacional

Figura 1 – Zoneamento bioclimático brasileiro

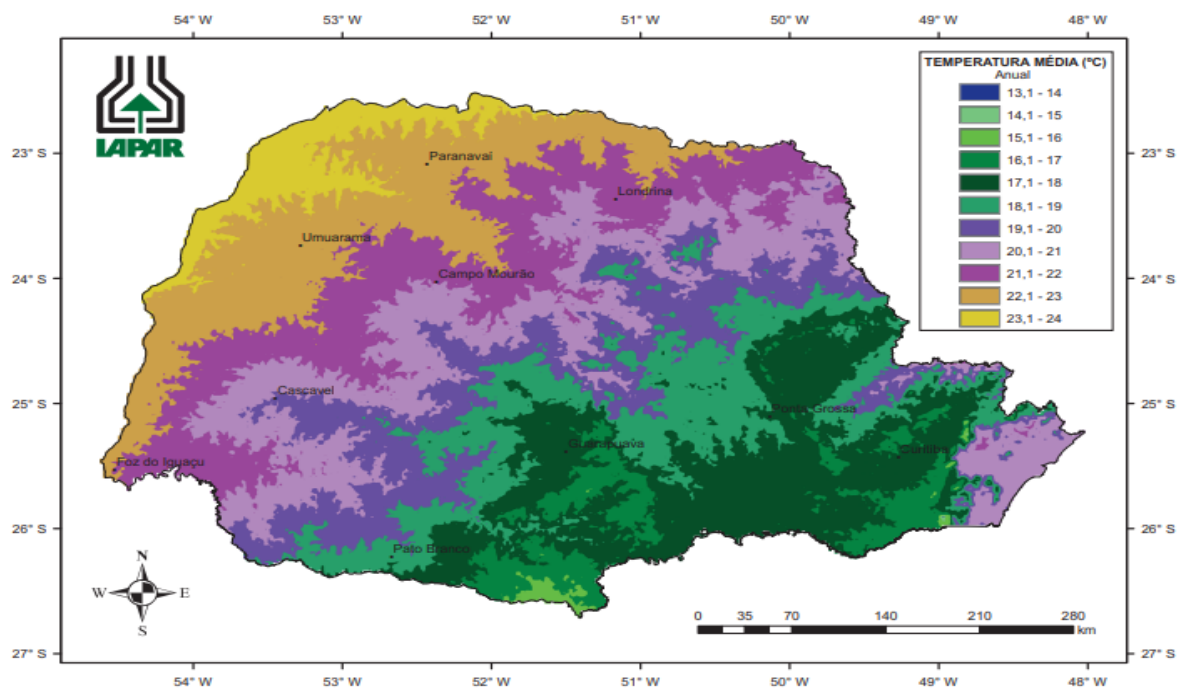


Fonte: ABNT NBR 15220 – 3 (2005)

3.3.2 Temperatura

O clima apresentado no município é moderado, subtropical, úmido. Com invernos apresentando geadas e até neves. A temperatura média anual é de 16,8°C. A média máxima é de 36°C e a mínima, 6,8°C (GUARAPUAVA, 2020). Na Figura 2 é pode-se visualizar as temperaturas médias anuais no estado do Paraná.

Figura 2 - Temperatura média anual no estado do Paraná



Fonte: Atlas Climático do Estado do Paraná (2019)

Para se fazer a avaliação do conforto térmico é de suma importância analisar as temperaturas máximas e mínimas mensais previstas para a localidade de estudo. No quadro 1 podemos visualizar as temperaturas mínimas mensais e mínimas absolutas mensais para o município de Guarapuava. Os valores apresentados são da temperatura em °C e estão contidos em um intervalo de variação.

Quadro 1 - Temperaturas mínimas mensais e mínimas absolutas para o município de Guarapuava - PR

	Mínimas Mensais (°C)		Mínimas Absolutas (°C)	
Janeiro	16,1	17,0	13,1	14,0
Fevereiro	16,1	17,0	13,1	14,0
Março	15,1	16,0	10,1	11,0
Abril	14,1	15,0	6,1	7,0
Maio	9,1	10,0	2,1	3,0
Junho	8,1	9,0	0,0	1,0
Julho	6,1	7,0	-0,9	0,0
Agosto	8,1	9,0	1,1	2,0
Setembro	12,1	13,0	3,1	4,0
Outubro	14,1	15,0	7,1	8,0
Novembro	14,1	15,0	9,1	10,0
Dezembro	16,1	17,0	11,1	12,0

Fonte: Adaptado de Atlas Climático do Estado do Paraná

A partir dos valores apresentados podemos observar que a menor mínima mensal para o município se apresenta no mês de julho sendo de 6,1°C, assim como como a menor mínima absoluta que é de 0,9°C. Da mesma forma o Quadro 2 apresenta os valores das máximas mensais e máximas absolutas para o município de Guarapuava.

Quadro 2 - Temperaturas máximas mensais e máximas absolutas para o município de Guarapuava - PR

	Máximas Mensais (°C)		Máximas Absolutas (°C)	
Janeiro	27,1	28,0	30,1	31,0
Fevereiro	27,1	28,0	30,1	31,0
Março	26,1	27,0	29,1	30,0
Abril	24,1	25,0	28,1	29,0
Maio	20,1	21,0	27,1	28,0
Junho	19,1	20,0	24,1	25,0
Julho	19,1	20,0	25,1	26,0
Agosto	21,1	22,0	27,1	28,0
Setembro	22,1	23,0	29,1	30,0
Outubro	23,1	24,0	30,1	31,0
Novembro	26,1	27,0	30,1	31,0
Dezembro	26,1	27,0	30,1	31,0

Fonte: Adaptado de Atlas Climático do Estado do Paraná

Por meio dos dados acima podemos observar que a maior máxima mensal para o município se apresenta nos meses de janeiro e fevereiro sendo de 28,0°C, e máxima absoluta é de 31,0°C para os meses de janeiro, fevereiro, outubro, novembro e dezembro.

3.3.3 Umidade relativa do ar

Segundo o Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas da Prefeitura de São Paulo (CEGESP) a umidade relativa do ar é a relação entre a quantidade de água que existe no ar e a quantidade máxima que poderia existir a mesma temperatura.

A umidade relativa do ar tem influência sobre fatores como a temperatura, sensação térmica e períodos de chuva, dessa forma influenciando diretamente no conforto térmico. No Quadro 3 são apresentados os intervalos de umidades relativas do ar no município de Guarapuava.

Quadro 3 – Umidade relativa do ar para o município de Guarapuava - PR

Umidade relativa do ar (%)		
Janeiro	75,1	80
Fevereiro	80,1	85
Março	75,1	80
Abril	75,1	80
Maio	80,1	85
Junho	80,1	85
Julho	75,1	80
Agosto	70,1	75
Setembro	70,1	75
Outubro	75,1	80
Novembro	70,1	75
Dezembro	75,1	80

Fonte: Adaptado de Atlas Climático do Estado do Paraná

Por meio do Quadro 3 podemos afirmar que a umidade relativa do ar varia entre 70 e 90%, apresentando menores valores nos meses de agosto, setembro e novembro.

3.3.4 Insolação

Os objetos expostos à radiação solar (insolação) armazenam calor e o transferem ao longo do tempo auxiliando no aquecimento dos ambientes (SCALCO, 2010, p. 6). A insolação influencia diretamente no ganho de calor dos materiais, os

deixando mais quentes ou frios. Essa radiação se diferencia para cada local, dia e horário, sendo mais desejada no inverno e menos no verão.

Devido a isso, faz-se necessário o conhecimento em relação aos níveis de insolação de um município frio como o de Guarapuava, no quadro a seguir temos a quantidade de horas, contidas em um intervalo, de insolação na cidade para cada mês do ano.

Quadro 4 – Insolação para o município de Guarapuava - PR

Insolação (h)		
Janeiro	6,1	7
Fevereiro	6,1	7
Março	6,1	7
Abril	6,1	7
Maio	5,1	6
Junho	5,1	6
Julho	6,1	7
Agosto	6,1	7
Setembro	6,1	7
Outubro	6,1	7
Novembro	6,1	7
Dezembro	6,1	7

Fonte: Adaptado de Atlas Climático do Estado do Paraná

4 MATERIAS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do trabalho.

4.1 Apresentação da edificação de estudo

O empreendimento em estudo neste trabalho, conta com um pavimento térreo, utilizado como estacionamento, 1º pavimento contendo dois apartamentos e salão de festa e cinco pavimentos tipo, cada um contendo quatro apartamentos.

Figura 3 – Empreendimento estudado

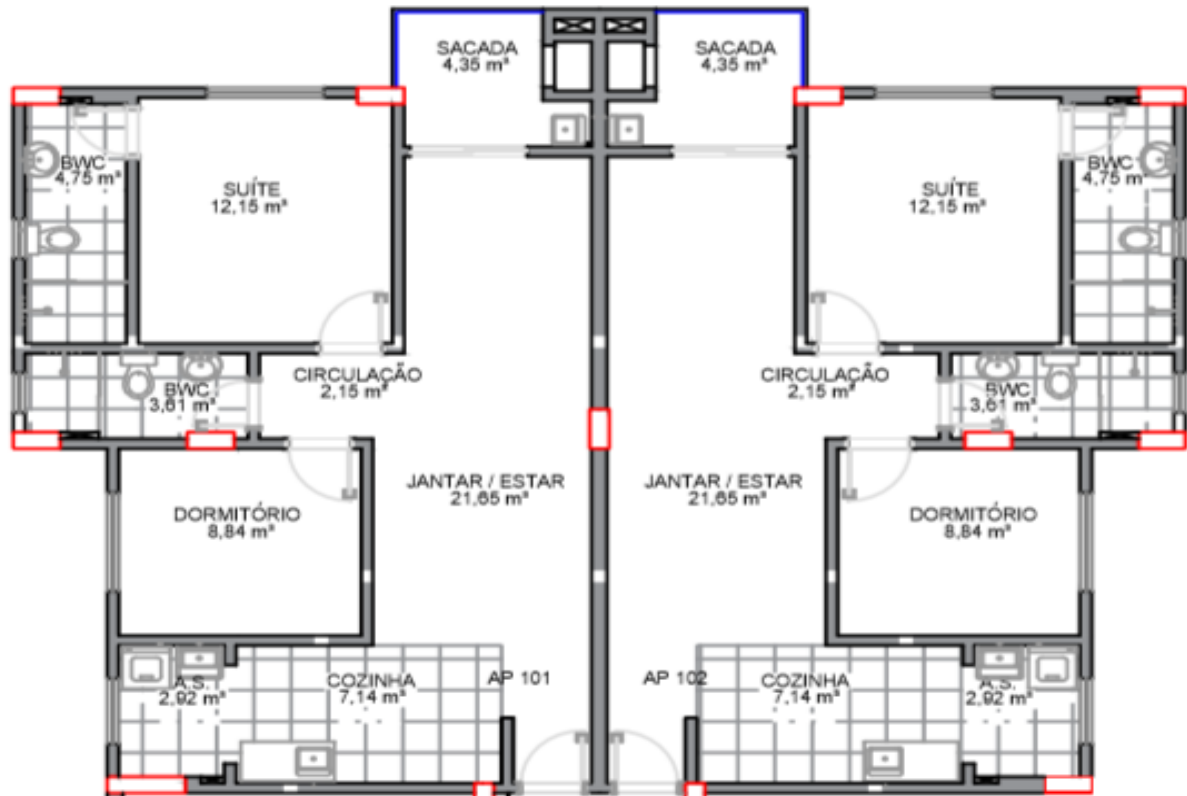


Fonte: **Autoria própria (2022)**

O 1º pavimento conta com dois apartamentos de 74,33m² e salão de festa com 140,48m² de área construída. Cada um dos outros cinco pavimentos tipo contém dois apartamentos de 67,57m² e outros dois de 74,33m² de área construída. Todos os seis andares têm área construída 318,15m², já o pavimento térreo apresenta 322,05m², enquanto o último pavimento onde está localizada a caixa d'água tem 40,75m².

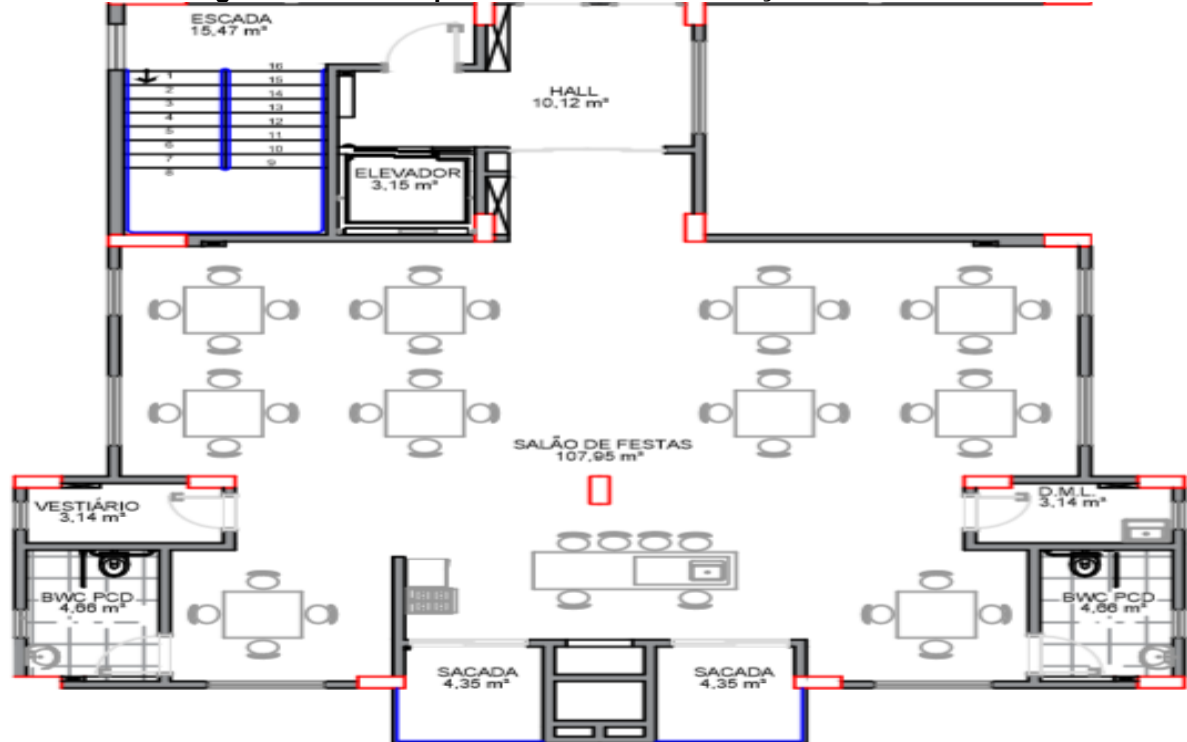
Todos os apartamentos contêm dois dormitórios, sendo um deles suíte, sala de estar/jantar, cozinha, banheiro social, área de serviço e sacada com churrasqueira. A seguir temos a planta baixa do primeiro pavimento e pavimento tipo.

Figura 4 - Primeiro pavimento Edifício Florença – apartamentos 101 e 102



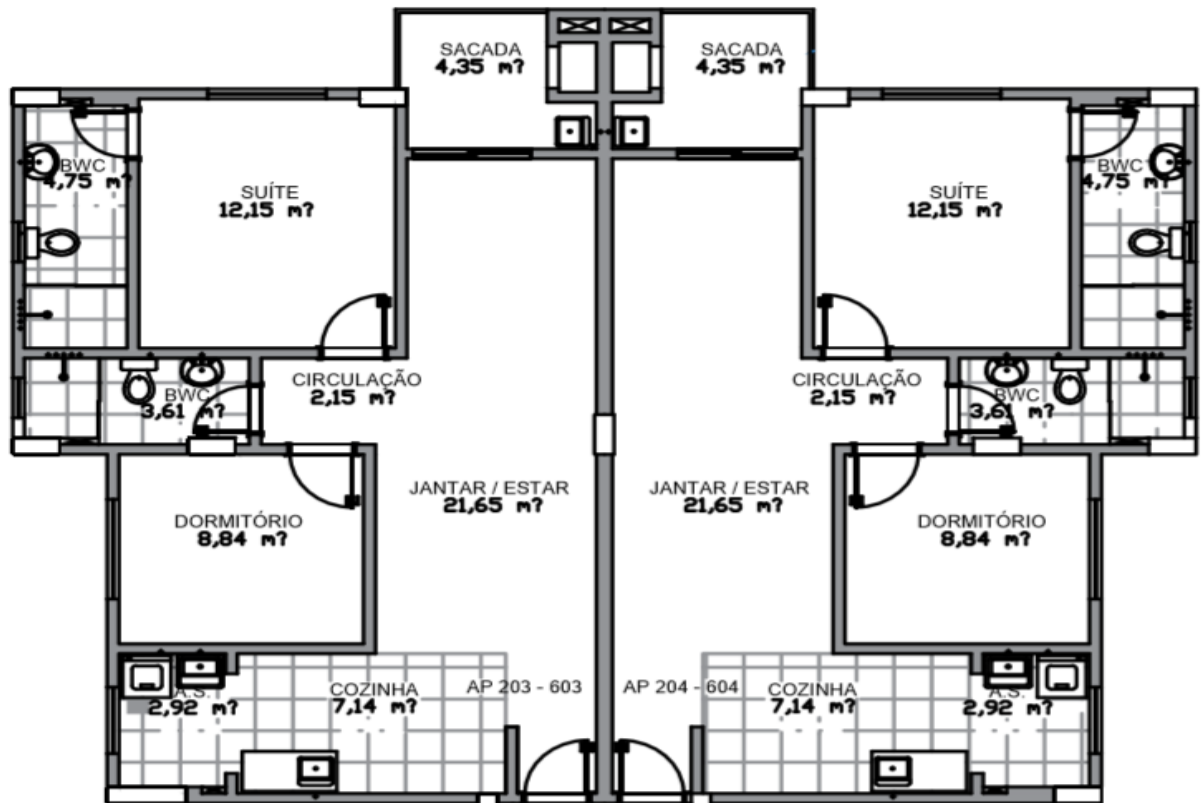
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 5 - Primeiro pavimento Edifício Florença - salão de festas



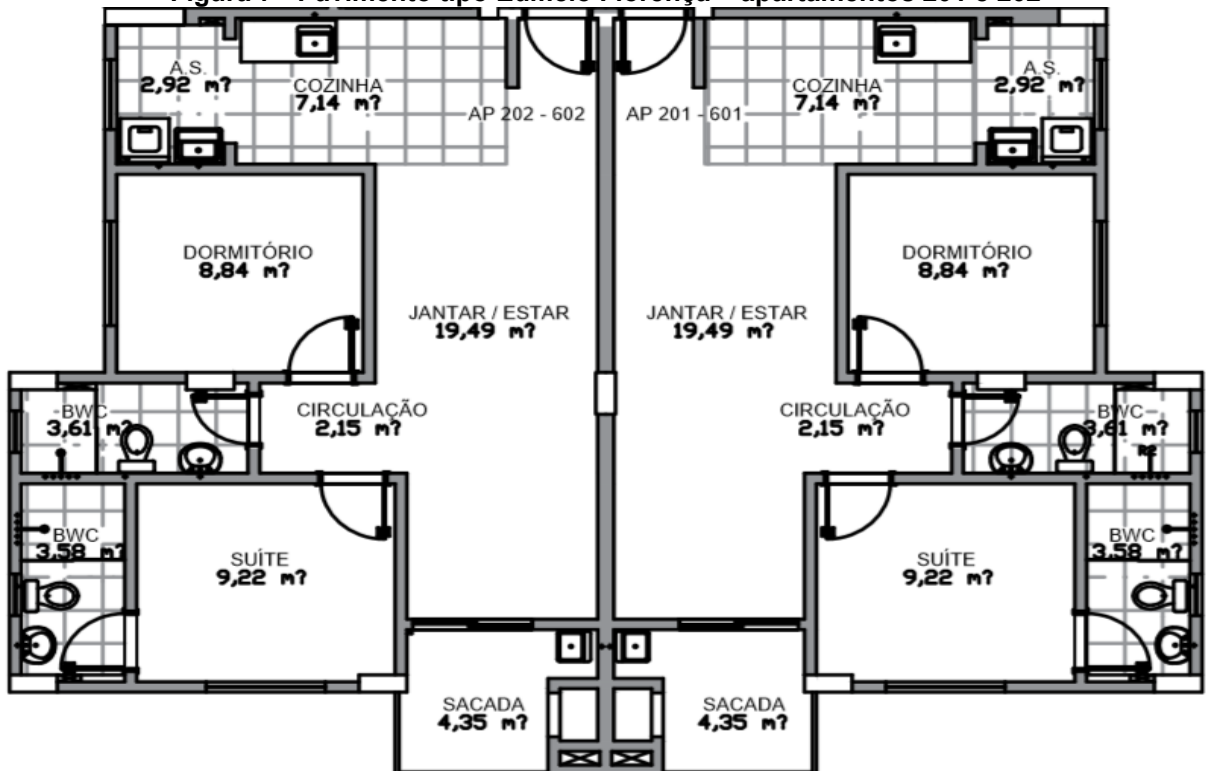
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 6 - Pavimento tipo Edifício Florença – apartamentos 203 e 204



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 7 - Pavimento tipo Edifício Florença – apartamentos 201 e 202



Fonte: Autoria própria (2022)

4.2 Metodologia

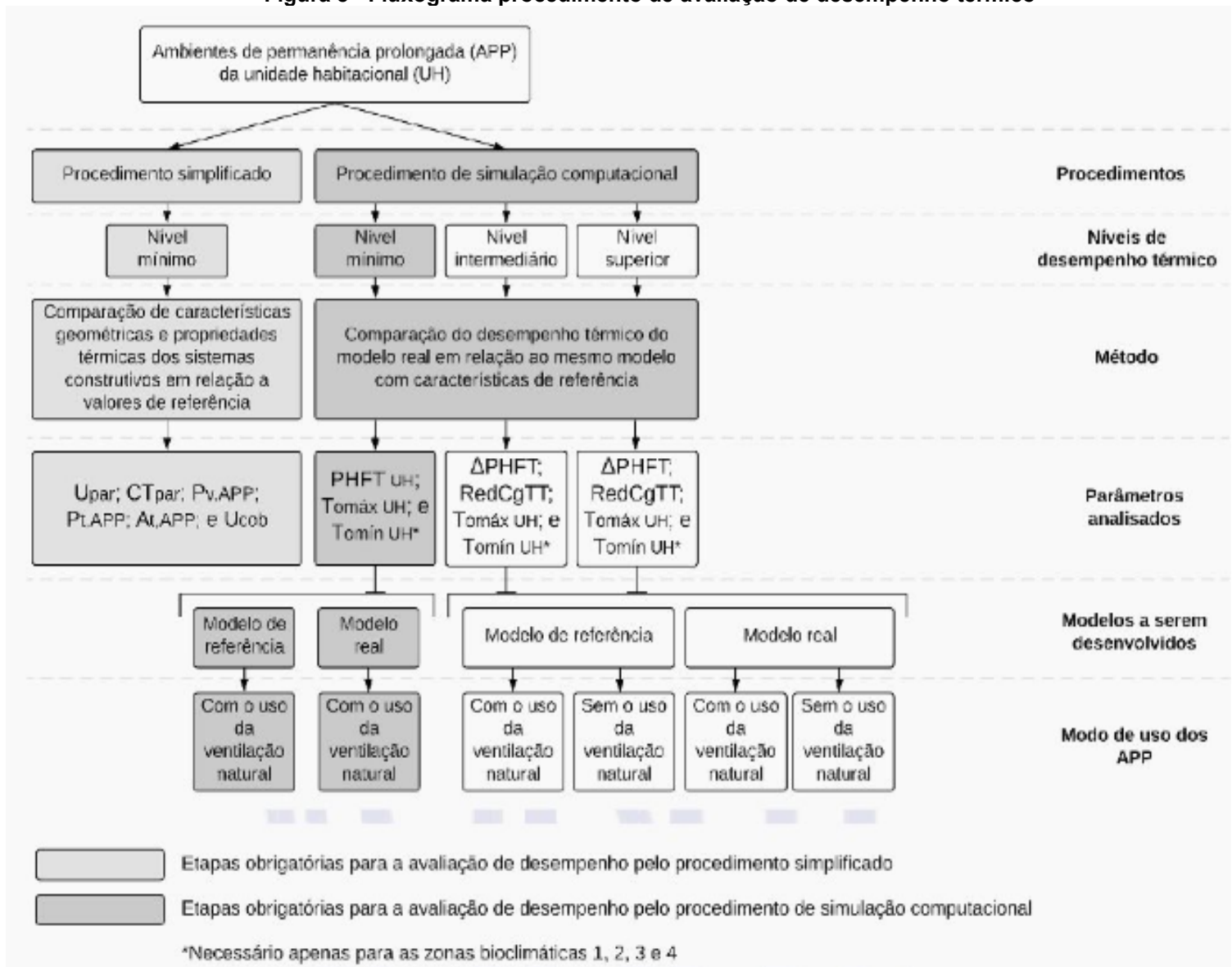
4.2.1 Procedimentos para simulações computacionais

Para o desenvolvimento dessa pesquisa foi necessário o uso de algumas ferramentas computacionais, como os *softwares* SketchUp Pro 2022, Open Studio e Energy Plus V22-2-0. Primeiramente foram realizadas as modelagens necessárias no programa SketchUp, posteriormente esses modelos foram importados no *software* Open Studio para especificações dos componentes da edificação e então o arquivo foi exportado para o *software* Energy Plus afim de coletar resultados de simulações relativas às temperaturas para todos os horários do ano.

Para a avaliação do desempenho térmico da edificação foi considerado a zona bioclimática na qual a edificação se encontra. Como descrito no item 3.3.1 a cidade de Guarapuava está localizada na zona bioclimática 1 (Z1). Seguindo orientações da ABNT NBR 15575, foi considerada a edificação como um todo, analisando-se cada ambiente como uma zona térmica.

O desempenho térmico das edificações é definido por meio da delimitação de três níveis de desempenho: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S). É obrigatório o atendimento ao desempenho mínimo. A avaliação deve ser feita para os Ambientes de Permanência Prolongada (APP) da unidade habitacional (ANBT 15575-1, 2021, p. 28). A Figura 8 apresenta as características principais dos procedimentos de avaliação de desempenho térmico, neste trabalho será verificado apenas as exigências do nível de desempenho mínimo.

Figura 8 - Fluxograma procedimento de avaliação de desempenho térmico



Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021)

De acordo com a ABNT NBR 15575 – 1 (2021) o procedimento de simulação computacional busca avaliar o desempenho térmico anual da envoltória da edificação comparando com as características de referência, neste procedimento devem ser elaborados dois modelos:

- O modelo real, no qual as características geométricas da unidade habitacional devem ser conservadas, assim como as propriedades térmicas e as composições dos elementos transparentes, paredes e coberturas;

- O modelo de referência, onde a edificação avaliada é representada com características de referência, contidas na ABNT NBR 15575-1 (2021).

Para a avaliação do nível de desempenho térmico mínimo, tanto para o modelo real como para o modelo de referência as simulações devem ocorrer considerando apenas o uso da ventilação natural para os ambientes de permanência prolongada (APP) (ABNT, 2021, p.32).

Segundo a ABNT NBR 15575 – 1 (2021) após a realização da simulação considerando apenas a ventilação natural, alguns itens devem ser determinados:

- O percentual de horas de ocupação dos APP dentro de uma faixa de temperatura operativa ($PHFT_{APP}$), essa faixa de temperatura operativa varia de acordo com o clima local;
- A temperatura operativa anual máxima ($Tomáx_{APP}$) de cada um dos ambientes de permanência prolongada. Quando a edificação estiver localizada nas zonas bioclimáticas 1, 2, 3 ou 4, também é necessário determinada a temperatura operativa anual mínima ($Tomín_{APP}$) de cada APP.

Após a definição dos valores para os parâmetros apresentados anteriormente para cada um dos APP, deve-se determinar os valores para o percentual de horas de ocupação ($PHFT_{UH}$), temperatura operativa anual máxima ($Tomáx_{UH}$) da unidade habitacional (UH) e temperatura operativa anual mínima ($Tomín_{UH}$) do modelo real em relação ao modelo de referência (ABNT, 2021, p. 36).

4.2.2 Arquivo climático e requisitos de desempenho térmico da envoltória

O arquivo climático deve conter informações que representem o clima da cidade onde a edificação está localizada, em casos em que a cidade da edificação não possua esses dados a orientação da ABNT NBR 15575 – 1 é que ocorra a utilização de um arquivo climático de uma cidade próxima com características climáticas semelhante. Guarapuava não possui um arquivo climático, dessa forma foi utilizado o arquivo climático da cidade de Inácio Martins – PR para o desenvolvimento

do trabalho, por ser essa a cidade mais próxima a possuir estas informações. O arquivo foi obtido da base-padrão de arquivos climáticos descrita na ABNT TR 15575 -1 – 1 (ABNT, 2021, p. 33).

A determinação do percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT_{UH}) e das temperaturas operativas anuais máximas e mínimas da unidade habitacional foi realizada levando em conta intervalos de temperaturas externas (ABNT, 2021, p. 34). Para identificar esse intervalo foi preciso fazer a média anual da temperatura de bulbo seco (TBSm) do arquivo climático utilizado, conforme Tabela 1:

Tabela 1 - Intervalos de temperaturas externas de bulbo seco	
Intervalo de temperaturas externas	Média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBSm) °C
Intervalo 1	TBSm < 25° C
Intervalo 2	25° C ≤ TBSm < 25° C
Intervalo 3	TBSm ≤ 27° C

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021)

Analisando o arquivo climático de Inácio Martins no *software* Microsoft Excel e realizando a média anual encontrou-se o valor de 16,3 °C, logo a análise considerará o Intervalo 1 da Tabela 1. Com a definição do intervalo é possível determinar a faixa de temperatura operativa a ser considerada em conformidade com a Tabela 2.

Tabela 2 - Faixas de temperaturas operativas para a determinação do PHFT_{APP}	
Intervalo de temperaturas externas	Faixa de temperatura operativa a ser considerada
Intervalo 1	18,0° C < ToAPPa < 26,0°C
Intervalo 2	ToAPPa < 28,0°C
Intervalo 3	ToAPPa < 30,0°C

ToAPPa é a temperatura operativa do APP, que atende aos limites estabelecidos nesta Tabela.

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021)

Logo a temperatura operativa dos ambientes de permanência prolongada estará contida no intervalo 1 para o cálculo de PHFT_{APP}. Para atender ao nível mínimo (M) o percentual de horas de ocupação da UH dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT_{UH}) para o modelo real de simulação deve apresentar durante o período de um ano e durante os períodos de ocupação dos APP, um PHFT_{UH,real}

superior a 90% do obtido para o modelo de referência $PHFT_{UH,ref}$ em conformidade com a Tabela 3 (ABNT,2021, p.35).

Tabela 3 - Critério de avaliação de desempenho térmico da envoltória quanto ao PHFT_{UH}	
Nível de desempenho	Critério
Mínimo (M)	$PHFT_{UH,real} > 0,9 \cdot PHFT_{UH,ref}$
Intermediário (I)	$\Delta PHFT_a \geq \Delta PHFT_{mín}$
Superior (S)	$\Delta PHFT \geq \Delta PHFT_{mín}$
a $\Delta PHFT$ é o incremento do $PHFT_{UH,real}$ em relação ao $PHFT_{UH,ref}$. b $\Delta PHFT_{mín}$ é o incremento mínimo do $PHFT_{UH,real}$ em relação ao $PHFT_{UH,ref}$ com valor obtido pela Tabela 20, para o nível intermediário, e pela Tabela 21, para o nível superior.	
Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021)	

O $PHFT_{APP}$ deve ser calculado para todos os ambientes de permanência prolongada, tanto para o modelo real como para o modelo de referência. O cálculo deve ser feito para cada ambiente de permanência prolongada (APP) separadamente, de acordo com a Equação 4.

$$PHFT_{APP} = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{Ocup}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$PHFT_{APP}$: percentual de horas de ocupação do APP dentro da faixa de temperatura operativa, expresso em porcentagem (%);

Nh_{FT} : número de horas em que o APP se encontra ocupado e com temperaturas operativas dentro da faixa de temperatura operativa, estabelecida na Tabela 2, ao longo do ano;

Nh_{Ocup} : número de horas em que o APP é ocupado ao longo do ano, equivalente a 2920 horas para salas e 3650 horas para dormitórios.

Depois de calculado o $PHFT_{APP}$ é necessário calcular o percentual de horas de ocupação da unidade habitacional ($PHFT_{UH}$), o mesmo deve ser calculado para ambos os modelos, real e de referência, por meio da Equação 5. Assim que encontrado os valores de $PHFT_{UH}$, devesse verificar se os resultados obtidos estão de acordo com os contidos na Tabela 3.

$$PHFT_{UH} = \frac{\sum_{i=1}^n PHFT_{APP,i}}{n} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$PHFT_{UH}$: percentual de horas de ocupação da UH (unidade habitacional) dentro da faixa de temperatura operativa, expresso em porcentagem (%);

$PHFT_{APP}$: percentual de horas de ocupação do APP dentro da faixa de temperatura operativa, expresso em porcentagem (%);

n: número de ambientes de permanência prolongada na unidade habitacional.

Em todos os níveis de desempenho a temperatura operativa anual máxima obtida no modelo real deve ser menor ou igual à encontrada para o modelo de referência, após somado um valor de tolerância ($\Delta Tomáx$) conforme a equação 6 (ABNT, 2021, p.35).

$$Tomáx_{UH,real} \leq Tomáx_{UH,ref} + \Delta Tomáx \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$Tomáx_{UH,real}$: temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional no modelo real, expressa em graus Celsius (°C);

$Tomáx_{UH,ref}$: temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional de referência, expressa em graus Celsius (°C);

$\Delta Tomáx$: calor de tolerância da temperatura operativa anual máxima, expressa em graus Celsius °C.

De acordo com a ABNT NBR 15575-1 (2021) $\Delta Tomáx$ deve ser considerado igual a 2° C para unidades habitacionais unifamiliares e UH localizadas no pavimento de cobertura de edificações multifamiliares. Já para UH localizadas no térreo ou pavimento tipo de edificações unifamiliares devesse adotar o valor de 1° C para $\Delta Tomáx$.

Para a zona bioclimática 1, que é o caso desse estudo, foi preciso analisar também a temperatura operativa anual mínima, onde o a $Tomín_{UH}$ do modelo real deve ser igual ou superior à $Tomín_{UH}$ do modelo de referência, após reduzido um valor de tolerância ($\Delta Tomín$) de acordo com a Equação 7. Para qualquer UH avaliada devesse utilizar $\Delta Tomín$ igual a 1° C.

$$Tomín_{UH,real} \geq Tomín_{UH,ref} - \Delta Tomín \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

$Tomín_{UH,real}$: temperatura operativa anual mínima da unidade habitacional no modelo real, expressa em graus Celsius ($^{\circ}C$);

$Tomín_{UH,ref}$: temperatura operativa anual mínima da unidade habitacional de referência, expressa em graus Celsius ($^{\circ}C$);

$\Delta Tomín$: calor de tolerância da temperatura operativa anual mínima, expressa em graus Celsius $^{\circ}C$.

Para a representação de cozinhas e salas conjugadas, os espaços internos devem ser modelados no mesmo ambiente, considerando as especificações para ambiente da sala (ABNT,2021, p.38).

Para as janelas dos ambientes de permanência prolongada devem ser consideradas frestas, quando fechadas, adotando-se os coeficientes da Tabela 4 (ABNT, 2021, p.38).

Tabela 4 -Descrição dos parâmetros da ventilação natural para as portas e janelas nos APP e APT

Parâmetros	Portas	Janelas
Coeficiente de fluxo de ar por frestas, quando a abertura está fechada $kk/(s.m)$	0,0024	0,00063
Expoente de fluxo de ar por frestas quando a abertura está fechada (adimensional)	0,59	0,63
Coeficiente de descarga (C_d) da abertura (adimensional)	0,60	0,60

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021)

Para o procedimento de simulação computacional é preciso modelar toda a UH, considerando as áreas de permanência prolongada (APP) e os ambientes de permanência transitória (APT). No caso de unidades habitacionais multifamiliares, devem ser considerados o pavimento térreo, o(s) pavimento(s) tipo(s) e o pavimento da cobertura.

Quando os pavimentos tipos sequenciais forem idênticos quanto a geometria e características construtivas, pode-se modelar apenas uma vez, tendo o resultado de sua UH atribuído as demais UH localizadas nos pavimentos tipo idênticos. Pavimentos que não possuem UH, são considerados não residenciais e estes devem ser considerados um único ambiente quando modelados, sendo representados como APT.

4.2.2.1 Parâmetros modelo real

Para caracterizar o modelo real e definir seus parâmetros foram utilizados os Quadros: Absortância (a) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (e) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas) (Anexo 1) e Densidade de massa aparente (r), condutividade térmica (l) e calor específico (c) de materiais (Anexo 2) retirados da ABNT NBR 15520- 2. Onde o primeiro apresenta a absortância e a emissividade dos materiais e o segundo a densidade, condutividade térmica e o calor específico dos materiais.

4.2.2.2 Parâmetros modelo de referência

Para a modelagem da edificação de acordo com o modelo de referência a NBR 15575-1 (2021) orienta que devem ser utilizados valores para paredes e pisos com espessura de 100 mm, composto por um material com propriedades térmicas iguais às expostas no Quadro 5.

Quadro 5 - Propriedades térmicas de paredes e pisos para o modelo de referência

Elemento	Condutividade térmica W/(m.K)	Calor específico J/(kg.K)	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa	Densidade kg/m ³
Paredes externas	1,75	1000	0,58	0,90	2200
Paredes internas	1,75	1000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	2200
Pisos	1,75	1000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	2200

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021)

Para a modelagem da cobertura em conformidade com o modelo de referência a norma indica a utilização de telha com 6 mm de espessura, camada de ar com resistência térmica de 0,21 (m².K) / W e laje de 100 mm de espessura, como mostra o Quadro 6.

Quadro 6 - Propriedades térmicas da cobertura para o modelo de referência

Elemento	Condutividade térmica W/(m.K)	Calor específico J/(kg.K)	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa	Densidade kg/m ³
----------	-------------------------------	---------------------------	------------------------------	----------------------------	-----------------------------

Quadro 6 - continuação

Telha com 6 mm de espessura	0,65	840	0,65	0,90	1700
Laje com 100 mm de espessura	1,75	1000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	2200

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021)

De acordo com a ABNT NBR 15575-1 (2021) os elementos transparentes dos APP do modelo de referência devem ser descritos pelo percentual da área destes elementos em relação à área do piso do APP. O percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) devem ser calculados de acordo com a Equação 8.

$$P_{t,APP} = 100 * \frac{A_{t,APP}}{A_{p,APP}} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

$P_{t,APP}$: percentual de elementos transparentes na envoltória do APP, expresso em porcentagem (%);

$A_{t,APP}$: área de superfície dos elementos transparentes do APP, expressa em metros quadrados (m²);

$A_{p,APP}$: área de piso do APP, expressa em metros quadrados (m²).

Ainda segundo a NBR 15575-1 para a modelagem da unidade habitacional de referência a representação dos elementos transparentes deve ser feito a partir do redimensionamento das áreas destes elementos, de acordo com o percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) expresso no Quadro 7.

Quadro 7 - Características dos elementos transparentes nas esquadrias para o modelo de referência

Elemento	Fator solar (FS)	Transmitância térmica (Ut) W/(m ² .K)	Percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) %
Elementos transparentes	0,87	5,70	17,00

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021)

Nas portas externas constituídas por elementos transparentes e pertencentes a APP, deve-se utilizar os percentuais descritos na Quadro 7 para modelar a abertura na condição de referência, mesmo que as suas proporções finais resultem em dimensões incompatíveis com as de uma porta usual, já para as portas constituídas por elementos exclusivamente opacos deve-se preservar a mesma geometria e propriedades térmicas das portas do modelo real (ABNT, 2021, p.42).

Depois de realizado todo o redimensionamento dos elementos transparentes para o modelo de referência a NBR 15575-1 descreve que a abertura para ventilação deve ser de 45% para cada elemento, esse percentual ($P_{v,APP}$) está expresso no Quadro 8.

Quadro 8 - Percentual de abertura para ventilação nas esquadrias para o modelo de referência

Elemento	Percentual de abertura de elementos transparentes ($P_{v,APP}$) %
Abertura para ventilação	7,65

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021)

4.2.3 Modelagem da ocupação e das cargas internas

Para a modelagem da unidade habitacional deve ser considerada a ocorrência de cargas internas por meio de três fatores, a ocupação dos usuários nos ambientes de permanência prolongada, a iluminação artificial e os equipamentos. Tanto para o modelo real quanto para o modelo de referência a modelagem das cargas transcorre da mesma maneira, como é mostrado nos Quadros: Padrões de ocupação diários dos ambientes de permanência prolongada (Anexo 3) e Taxa metabólica e fração radiante para os usuários (Anexo 4) retirados da ABNT NBR 15575-1.

Como disposto na ABNT NBR 15575-1 para o sistema de iluminação artificial o mesmo padrão de uso deve ser aplicado para todos os dias do ano, inclusive para os finais de semana como é apresentado no Quadro: Padrões de uso do sistema de iluminação artificial dos APP (Anexo 5).

Já a carga interna dos equipamentos deve ser adicionada apenas em salas de acordo com o que é disposto pela norma. O padrão de uso dos equipamentos deve ser considerado para todos os dias do ano, em conformidade com o Quadro 9 (ABNT, 2021, p.46).

Quadro 9 - Período de uso, densidade de cargas internas e fração radiante para equipamentos APP

Ambiente	Período do dia	Potência W	Fração radiante
Sala	14:00-21:59	120	0,30
Uso misto	14:00-21:59	120	0,30

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021)

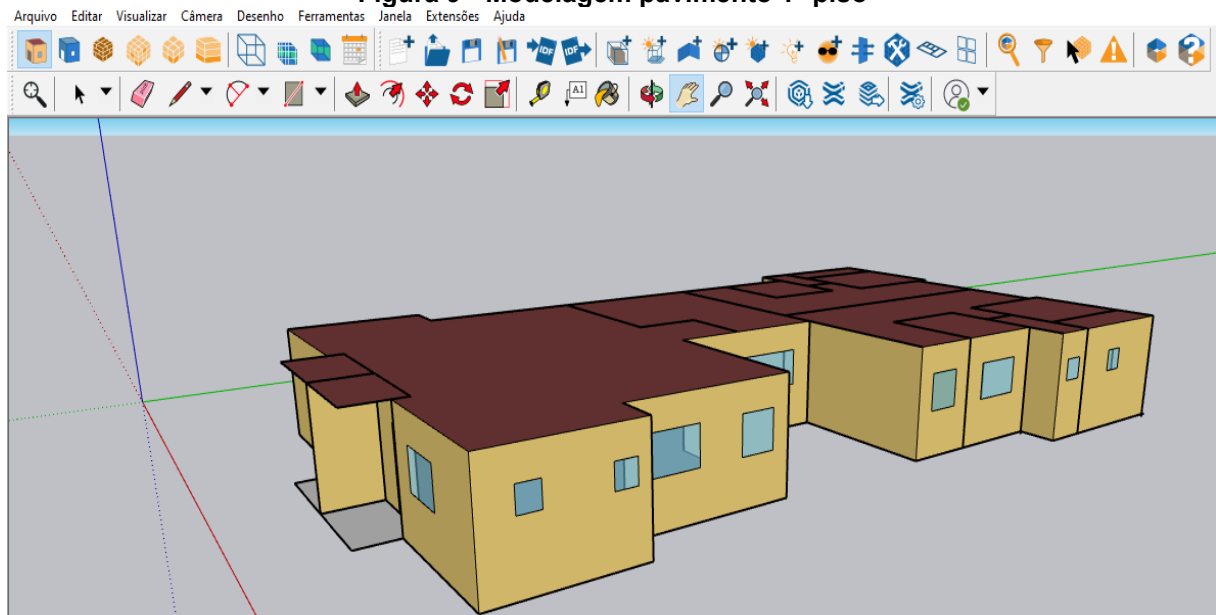
4.2.4 Modelagem da unidade habitacional

A modelagem da edificação de estudo será feita em três partes, por se tratar de uma habitação multifamiliar serão modelados o primeiro pavimento, pavimento tipo e o pavimento de cobertura como é disposto pela norma. A modelagem difere em alguns aspectos para o modelo real e o modelo de referência, realizando-se em conformidade com o disposto a seguir.

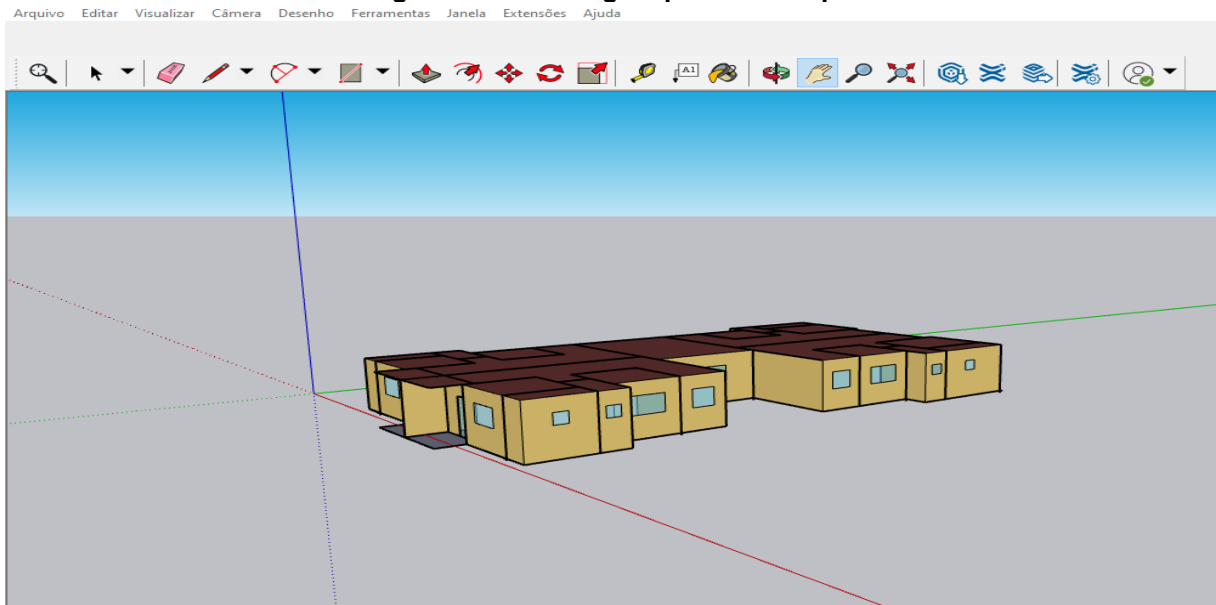
4.2.4.1 Modelagem real

A modelagem dos pavimentos aconteceu por meio da ferramenta SketchUp Pro 2022 e ocorreu de maneira similar para os pavimentos analisados, pisos e lajes foram modelados utilizando a espessura de 15 centímetros contida em projeto, para o primeiro pavimento e pavimento tipo foi utilizado pé direito de 2,85 metros, já as paredes variam entre 15 e 20 centímetros. Todas seguem as medidas encontradas em projeto. Assim foi possível obter a geometria dos pavimentos, como mostrado nas Figuras 9,10 e 11 a seguir.

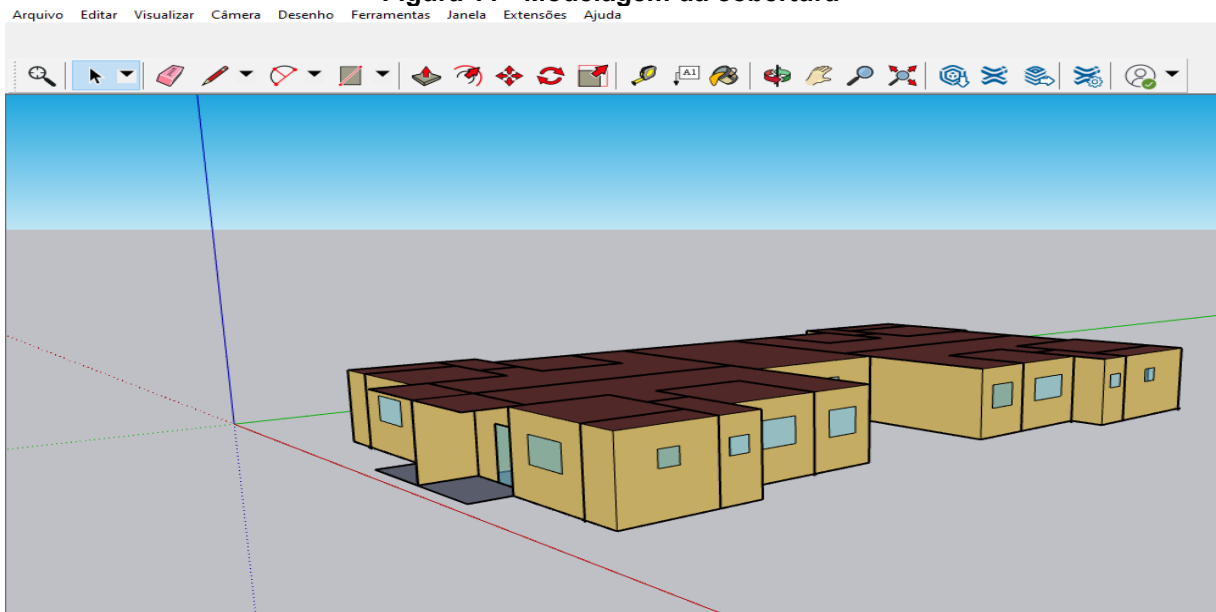
Figura 9 - Modelagem pavimento 1º piso



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 10 - Modelagem pavimento tipo

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 11 - Modelagem da cobertura

Fonte: Autoria própria (2022)

4.2.4.2 Modelagem de referência

A modelagem de acordo com o modelo de referência ocorreu de forma análoga as do modelo real, diferindo apenas nas especificações que a NBR 15575-1 traz, para a espessura das paredes e pisos foi adotado 10 cm, na laje de cobertura (espessura de 10 cm) como também nas dimensões das janelas e portas de vidro. Também foi realizado o redimensionamento de todas as janelas e portas de vidro do edifício afim de atender os parâmetros dispostos pela norma.

4.2.5 Open Studio

Nesse tópico serão abordados os procedimentos realizados na ferramenta Open Studio.

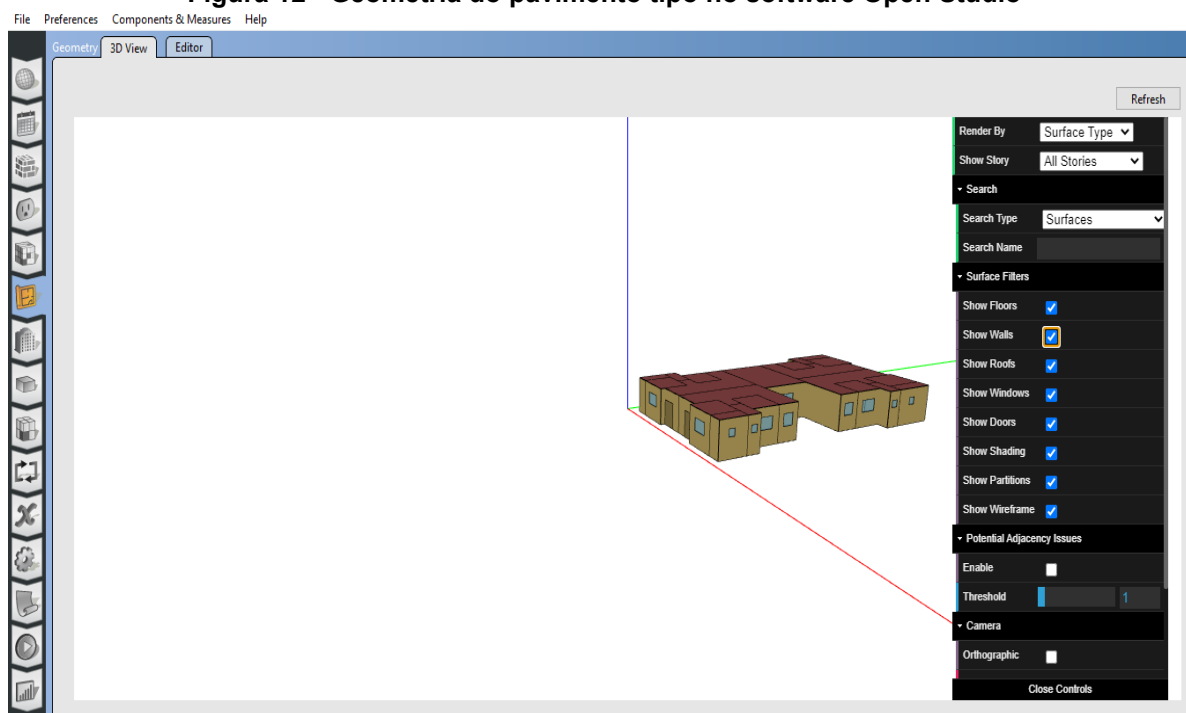
4.2.5.1 Exportação da geometria

Após a modelagem da edificação foi necessário exportar a mesma para a ferramenta Open Studio. Essa exportação ocorreu da mesma forma para os modelos reais e de referência. Por meio de uma extensão do programa Open Studio instalada no SketchUp Pro 2022 foi possível exportar os modelos para o formato OSM e utilizá-los no Open Studio.

4.2.5.2 Modelos reais

Feita a exportação das geometrias para o programa Open Studio foram analisadas as geometrias e suas formas, essas deveriam estar de acordo com as informações anteriormente exportadas. Foi verificado se as indicações estavam em conformidade com a realidade, por exemplo, as portas deveriam estar identificadas como portas, janelas como janelas e assim sucessivamente. Pode-se observar na Figura 12 a geometria do pavimento tipo já importada no programa Open Studio.

Figura 12 - Geometria do pavimento tipo no software Open Studio



Fonte: Autoria própria (2022)

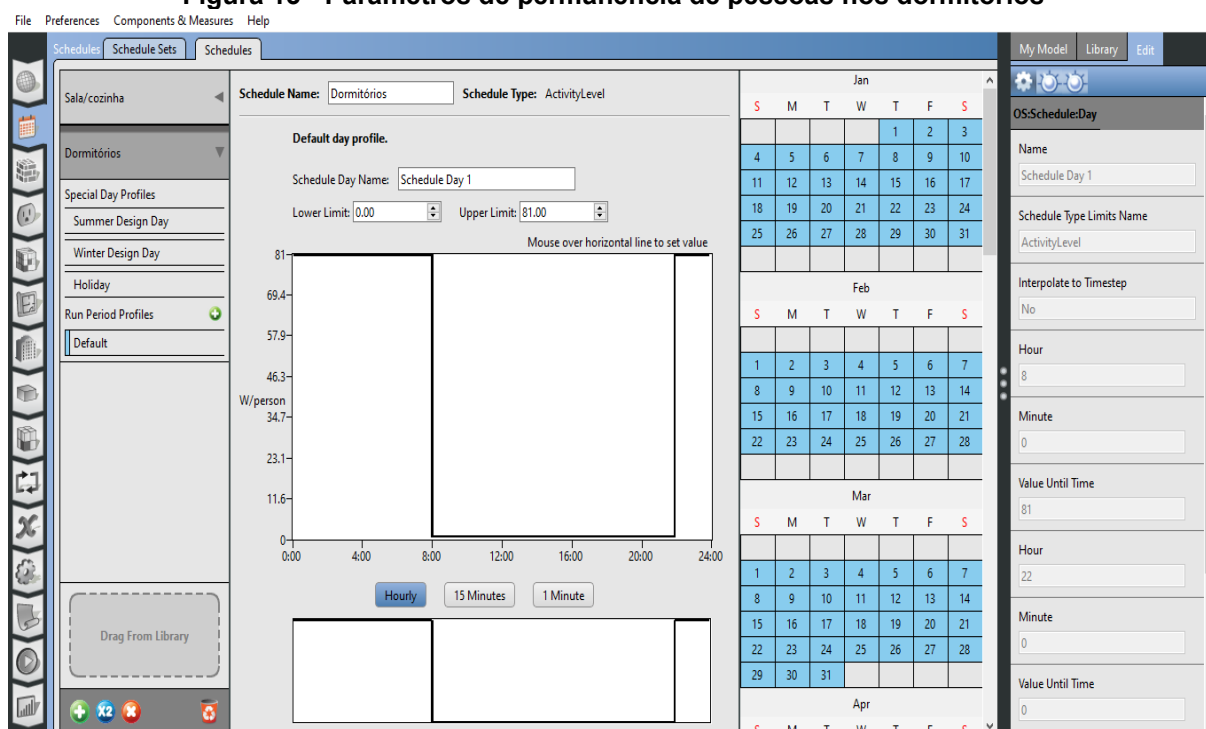
Seguindo o disposto na NBR 15575 – 1 foram suprimidos os cômodos que não são APP (como banheiros, depósitos, lavanderias, etc.) na análise de todos os pavimentos.

Após a obtenção do arquivo climático para a cidade de Inácio Martins, o arquivo foi inserido na ferramenta Open Studio, sendo utilizado o mesmo para todos os pavimentos.

O próximo passo para a definição dos parâmetros no Open Studio aconteceu na aba Schedule Sets (conjuntos de programação) onde foi definido o cronograma de utilização de equipamentos e de permanência das pessoas dentro do ambiente, os quais influenciam na temperatura interna da edificação. Para a definição do cronograma, primeiramente foram determinados os padrões de ocupação diário dos APP em relação a taxa metabólica e fração radiante para os usuários.

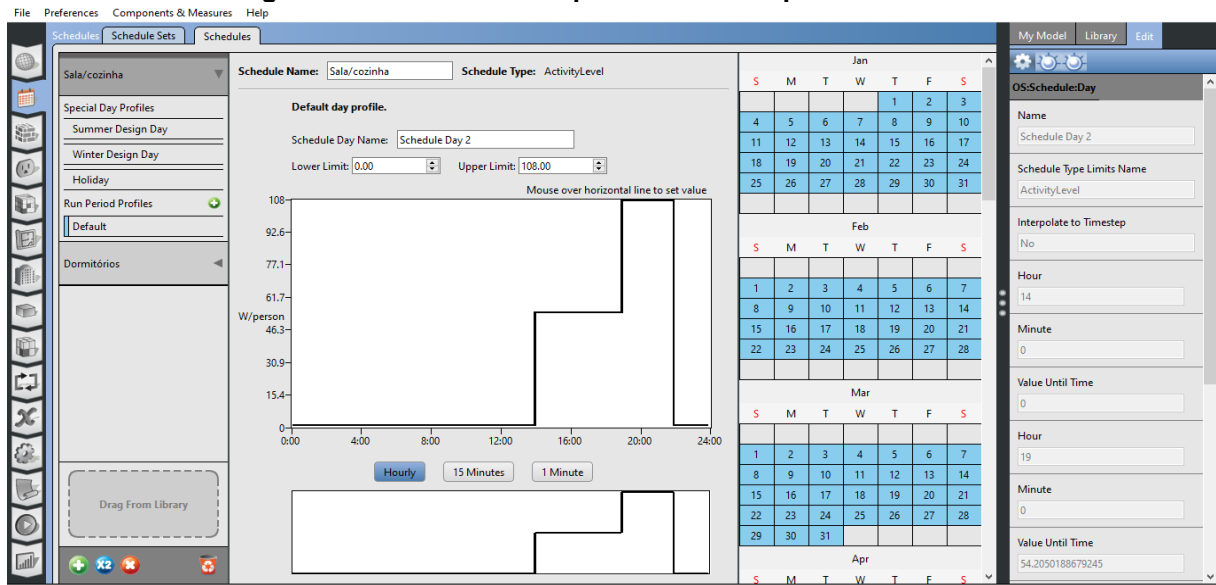
Dessa forma a modelagem da ocupação e das cargas internas dos pavimentos ocorreu de acordo com o disposto nos Quadros: Padrões de ocupação diários dos ambientes de permanência prolongada (Anexo 3) e Taxa metabólica e fração radiante para os usuários (Anexo 4), onde apenas os ambientes de permanência prolongada (sala e dormitórios) foram considerados. Nas Figuras 13 e 14 é possível observar a definição destes parâmetros no programa Open Studio.

Figura 13 - Parâmetros de permanência de pessoas nos dormitórios



Fonte: Autoria própria (2022)

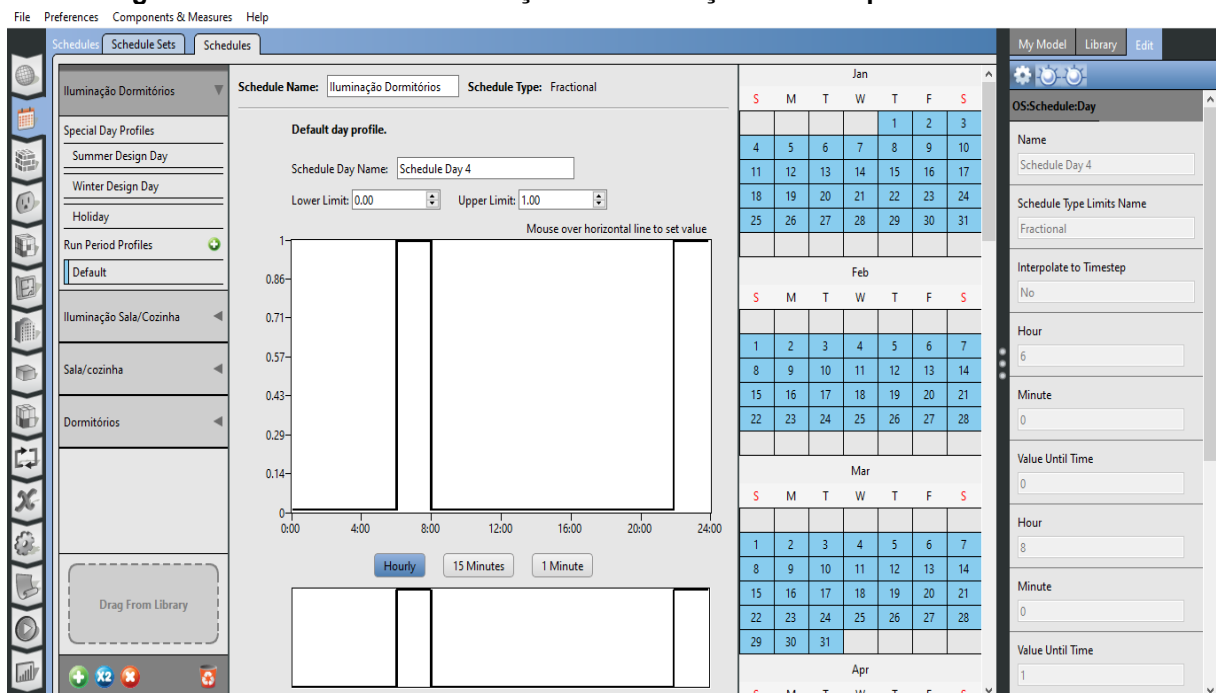
Figura 14 - Parâmetros de permanência de pessoas na sala



Fonte: Autoria própria (2022)

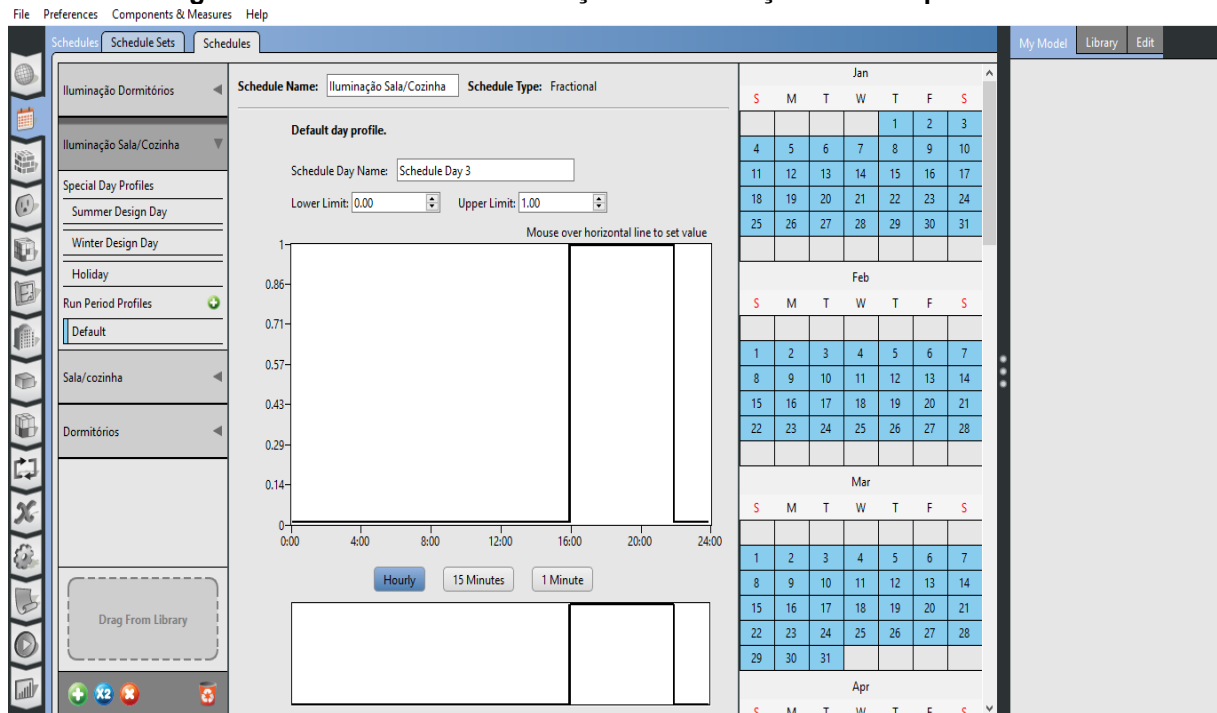
Em seguida foi necessário configurar o padrão de uso do sistema de iluminação artificial, o qual deve ser o mesmo para todos os dias do ano, em conformidade com o Quadro: Padrões de uso do sistema de iluminação artificial dos APP (Anexo 5). Pode-se observar nas Figura 15 e 16 os parâmetros adotados.

Figura 15 - Parâmetros de utilização de iluminação artificial para os dormitórios



Fonte: Autoria própria (2022)

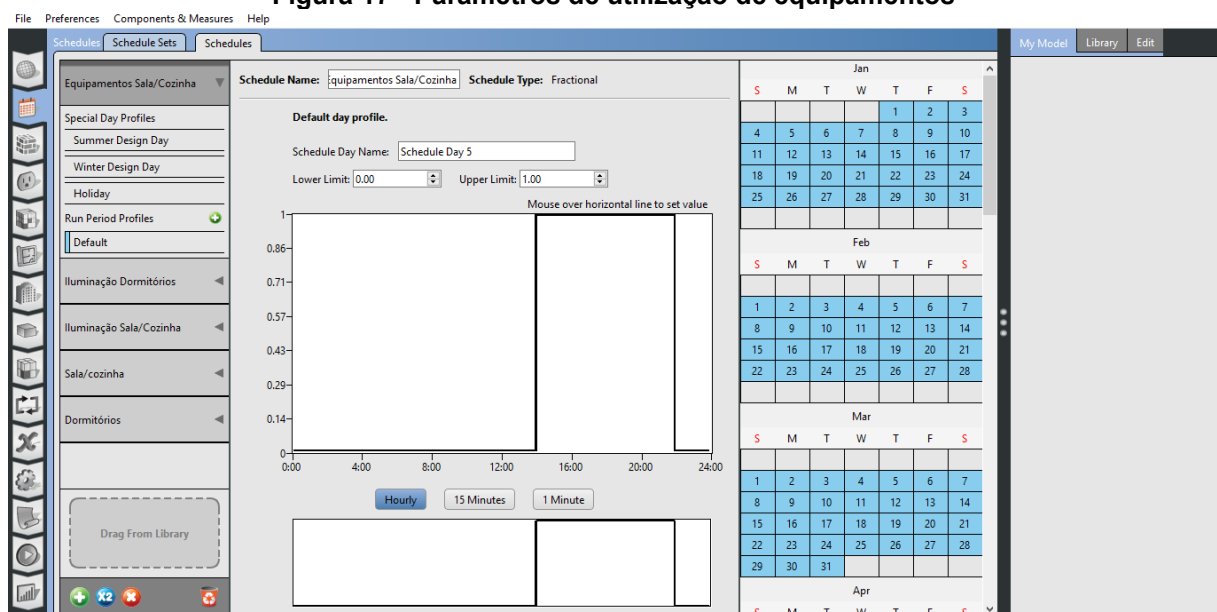
Figura 16 - Parâmetros de utilização de iluminação artificial para a sala



Fonte: Autoria própria (2022)

Em seguida foram definidos os parâmetros de utilização de equipamentos, seguindo a NBR 15575-1 devem ser considerados equipamentos apenas na sala. Desse modo a configuração ocorreu como o apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Parâmetros de utilização de equipamentos

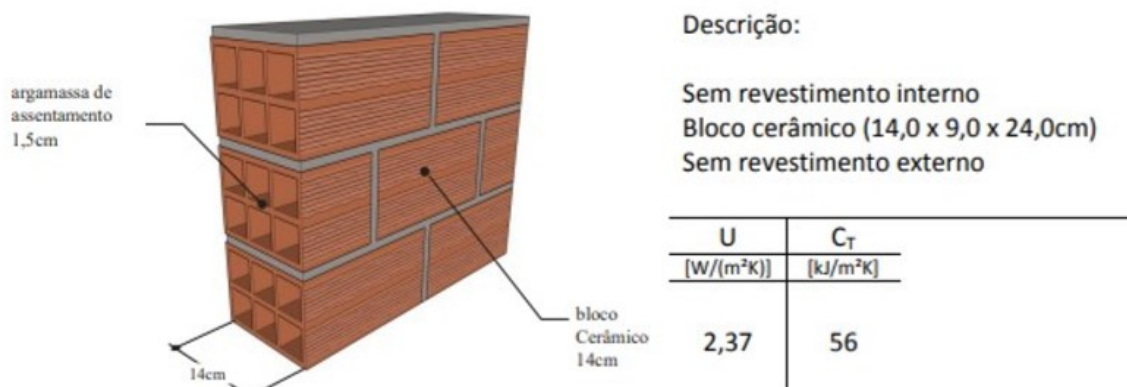


Fonte: Autoria própria (2022)

Depois da inserção dos parâmetros acima citados na ferramenta Open Studio, o próximo passo ocorre na aba *Constructions*, primeiramente é preciso definir os

materiais que irão compor a edificação, sendo eles: os blocos cerâmicos, emboço externo e interno, piso, forro e telhado para a cobertura. Para definição dos parâmetros desses materiais foram utilizados os dados dos Quadros: Absortância (a) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (e) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas) (Anexo 1) e Densidade de massa aparente (r), condutividade térmica (l) e calor específico (c) de materiais (Anexo 2), com exceção do bloco cerâmico que levou em conta os parâmetros apresentados na portaria do INMETRO n° 50/2013. Para o bloco cerâmico utilizou-se os parâmetros demonstrados na Figura 18.

Figura 18 - Propriedades do bloco cerâmico



Fonte: Portaria do INMETRO 50/2013

Para a definição da condutividade térmica do bloco cerâmico, foi necessário primeiramente descobrir o valor da resistência térmica, por meio da Equação 3.

$$U = \frac{1}{R} \quad \text{Equação 3}$$

Tendo assim:

$$U = \frac{1}{R} \rightarrow R = \frac{1}{U} = \frac{1}{2,37} = 0,4219 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Calculada a resistência térmica foi calculada a condutividade térmica pela Equação 2.

$$R = \frac{e}{\gamma} \quad \text{Equação 2}$$

Dessa forma:

$$R = \frac{e}{\gamma} \rightarrow \gamma = \frac{e}{R} = \frac{0,14}{0,4219} = 0,3318 \text{ W/mK}$$

Para a densidade de massa aparente foi adotado o valor de 1600 kg/m³ de acordo com a informação do Quadro: Densidade de massa aparente (r), condutividade térmica (l) e calor específico (c) de materiais (Anexo 2). Definido isso foi calculado o calor específico do bloco, o qual foi obtido por meio da Equação 3 usada para determinar a capacidade térmica de componentes.

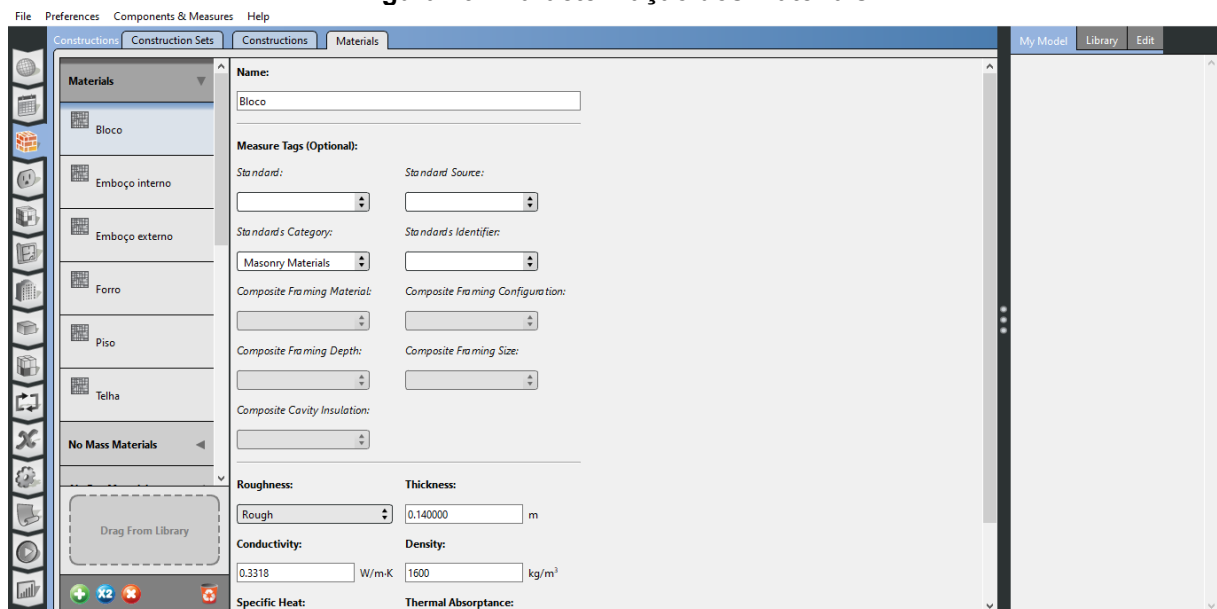
$$C_T = \sum_{i=1}^n \gamma_i * R_i * c_i * p_i = \sum_{i=1}^n e_i * c_i * p_i \quad \text{Equação 1}$$

Assim:

$$C_T = e * c * p \rightarrow c = \frac{C_T}{e * p} \rightarrow c = \frac{56}{0,14 * 1600} = 0,25 \text{ kJ/kgK}$$

Após efetuar os cálculos para os parâmetros do bloco cerâmico foram feitas as definições dos materiais que irão compor a edificação de estudo, na Figura 19 é possível observar o processo de caracterização dos materiais no software Open Studio.

Figura 19 - Caracterização dos materiais

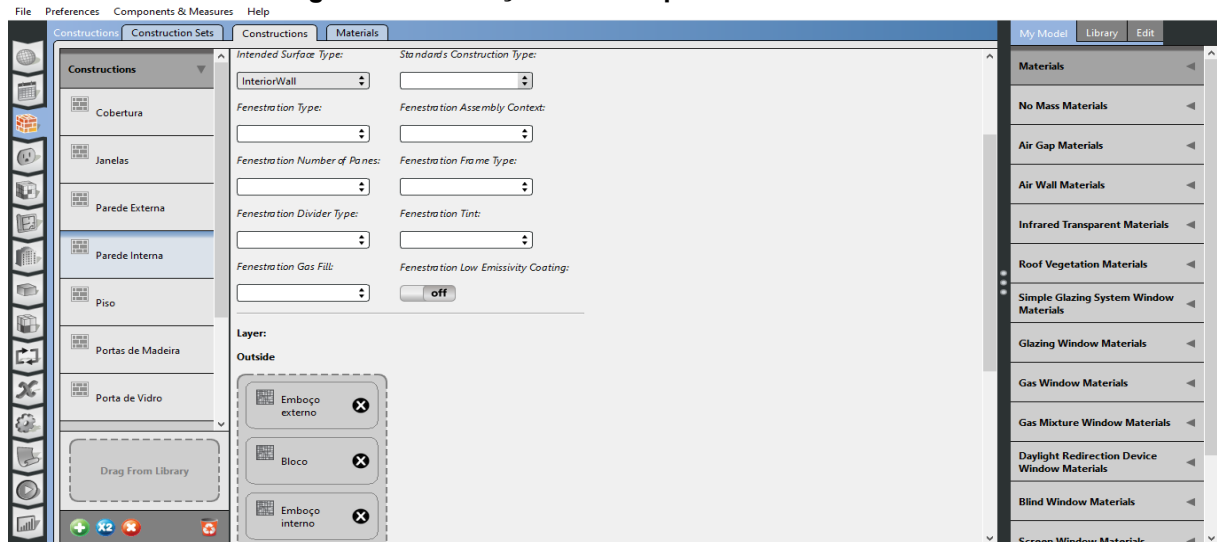


Fonte: Autoria própria (2022)

Para o vidro das janelas e das portas de acesso a sacada, bem como para a madeira das portas utilizou-se materiais padrões da biblioteca do Open Studio. Após a execução desses procedimentos, na aba *Construtions* foram definidas a composição

das paredes externas e internas, piso, cobertura, janelas e portas externas e internas. Como pode ser observado na Figura 20.

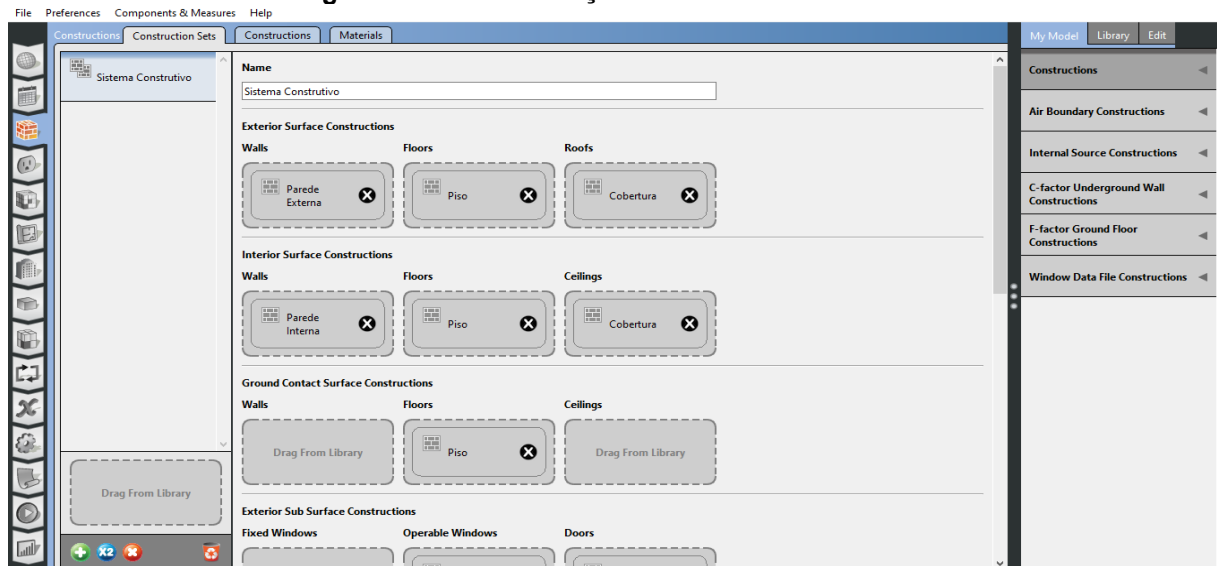
Figura 20 - Definição dos componentes da estrutura



Fonte: Autoria própria (2022)

O próximo passo foi a definição do sistema construtivo, nessa etapa devem ser definidas e especificadas camadas externas e internas da edificação como é demonstrado na Figura 21.

Figura 21 - Caracterização do sistema construtivo

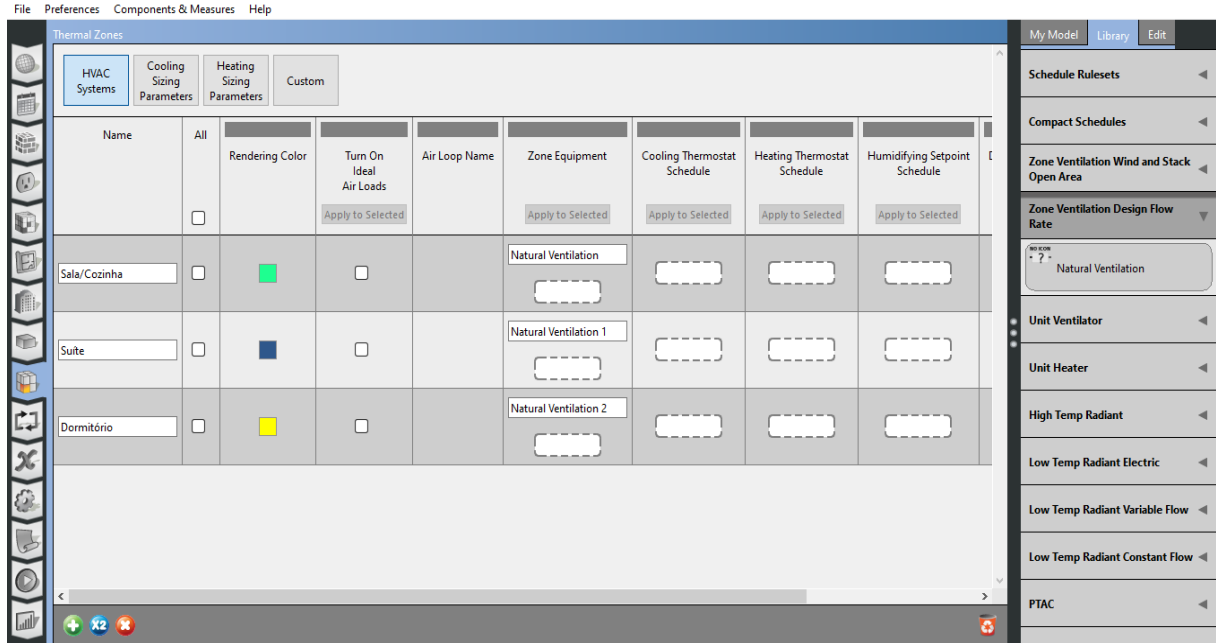


Fonte: Autoria própria (2022)

Em seguida, na aba *SpaceTypes* definiu-se o tipo de espaço como residencial. Definido o tipo de espaço partiu-se para a próxima aba, *Geometry*, onde foi determinado o eixo norte, rotacionando a edificação em relação ao norte verdadeiro.

Efetuada esses procedimentos, na aba *Thermal Zones* foram estipuladas as zonas térmicas da edificação, cada um dos cômodos foi considerado uma zona térmica independente. Nessa etapa determinou-se também que a edificação seria avaliada apenas com ventilação natural, conforme demonstra a Figura 22.

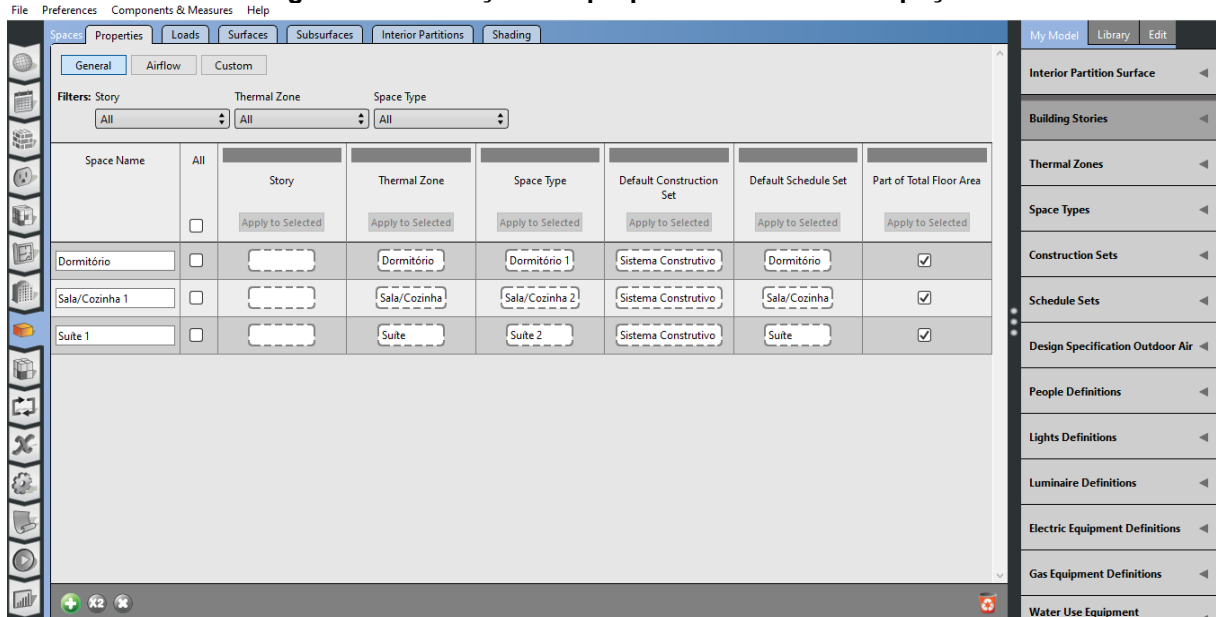
Figura 22 - Definição de zonas térmicas e ventilação natural



Fonte: Autoria própria (2022)

Em seguida, na aba *Spaces* foi realizado a associação das zonas térmicas criadas na etapa anterior a cada espaço correspondente, também foi feita a associação com cada *space type*, *default construction sets*, *default schedule set*, definidos nas etapas anteriores, como é mostrado na Figura 23.

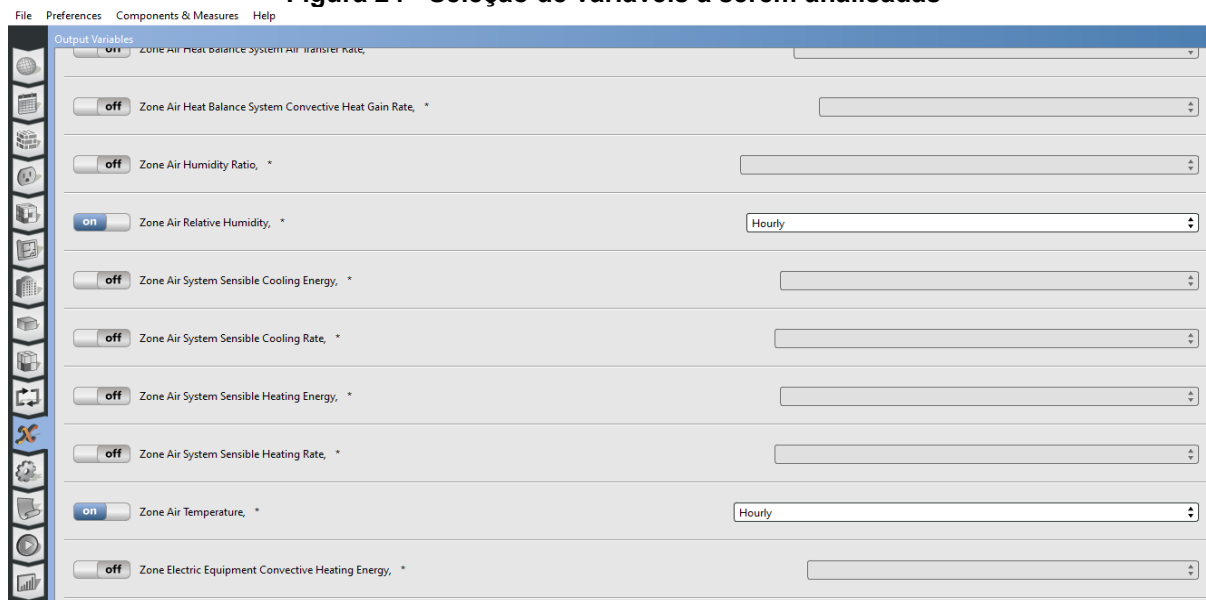
Figura 23 - Definição das propriedades de cada espaço



Fonte: Autoria própria (2022)

Por fim para a realização da simulação, na aba *Output Variables* algumas variáveis foram selecionadas, como *Zone Air Temperature*, *Zone Air Relative Humidity* e a principalmente a *Zone Operative Temperature* (Temperatura Operacional da Zona). Após estas definições foi iniciada a simulação.

Figura 24 - Seleção de variáveis a serem analisadas



Fonte: Autoria própria (2022)

4.2.5.3 Modelos de referência

A modelagem das cargas internas ocorreu de igual forma para os modelos reais e de referência, seguindo as orientações da ABNT NBR 15575-1 (2021). A diferença ocorre na caracterização dos modelos de referência, na definição das paredes internas e externas, piso, laje e cobertura que ocorre na aba *Construction Sets* os parâmetros foram definidos de acordo com as indicações apresentadas nos Quadros 5 e 6, seguindo as demais especificações iguais ao dos modelos reais.

Ao final de todas as etapas de inserção de informações já citadas para os modelos reais foi possível executar a simulação para cada um dos pavimentos. A partir disso o programa Open Studio gera um arquivo executável no software Energy Plus, o mesmo, tem a função de gerar dados que possibilitam realizar a análise térmica do objeto de estudo.

4.2.6 Energy Plus

Após a exportação do arquivo do Open Studio para o Energy Plus o primeiro passo foi a identificação de áreas não identificadas, pois o software tem dificuldade

em delimitar a área e volume de ambientes com geometria complexa, como salas e cozinhas conjugadas, sendo assim é preciso fazer essas identificações e inserção de dados de forma manual.

Na sequência ocorreu a caracterização dos ambientes de permanência prolongada. Foram consideradas duas pessoas por dormitório e quatro pessoas na sala, como citado nas notas 1 e 2 do Quadro: Padrões de ocupação diários dos ambientes de permanência prolongada (Anexo 3), pois a ocupação dos ambientes gera cargas térmicas que contribuem para o aquecimento do local, esse fato é associado ao *Schedule Sets* (criado no Open Studio). Esse procedimento é ilustrado na Figura 25.

Figura 25 - Inserção de pessoas nos ambientes

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Pessoas1	Pessoas2	Pessoas3
Zone or ZoneList Name		Cozinha/sala	Dormitório1	Dormitório2
Number of People Schedule Name		Always On Discrete	Always On Discrete	Always On Discrete
Number of People Calculation Method		People	People	People
Number of People		4	2	2
People per Zone Floor Area	person/m2			
Zone Floor Area per Person	m2/person			
Fraction Radiant		0,3	0,3	0,3
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		Sala	Dormitório	Dormitório

Fonte: Autoria própria (2022)

Em seguida foi definido a potência de luz instalada em cada APP e associado ao *Schedule Sets* (criado anteriormente no Open Studio), para os dormitórios foi utilizado uma potência de luz instalada de 100 W, já para a sala potência de 200 W como pode ser observado na Figura 26.

Figura 26 - Definição da potência de luz instalada em cada APP

Class List

- [.....] RoomAirSettings:CrossVentilation
- [.....] RoomAirSettings:UnderFloorAirDistributionInterior
- [.....] RoomAirSettings:UnderFloorAirDistributionExterior
- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork
- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork:AdjacentSurfaceList
- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork:InternalGains
- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork:HVACEquipment
- [.....] RoomAirSettings:AirflowNetwork

Internal Gains

- [0003] People
- [.....] ComfortViewFactorAngles
- [0003] Lights
- [0001] ElectricEquipment
- [.....] GasEquipment
- [.....] HotWaterEquipment
- [.....] SteamEquipment

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Sets internal gains for lights in the zone. If you use a ZoneList in the Zone or ZoneList name field then this definition applies to all the zones in the ZoneList.

Field Description: ID: A1 Enter a alphanumeric value

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Luz1	Luz2	Luz3
Zone or ZoneList Name		Cozinha/sala	Dormitório1	Dormitório2
Schedule Name		luzSala	LuzDormitorio	LuzDormitorio
Design Level Calculation Method		LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel
Lighting Level	W	200	100	100
Watts per Zone Floor Area	W/m2			
Watts per Person	W/person			
Return Air Fraction				
Fraction Radiant				
Fraction Visible				
Fraction Replaceable		1	1	1

Fonte: Autoria própria (2022)

Posteriormente foi definido a potência do equipamento, este processo deve ocorrer apenas para a sala de acordo com a ABNT NBR 15575-1, e tem a potência definida em 120 W em conformidade com o Quadro 9, essa definição de parâmetro é apresentada na Figura 27.

Figura 27 - Inserção da potência do equipamento

Class List

- [.....] RoomAirSettings:UnderFloorAirDistributionExterior
- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork
- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork:AdjacentSurfaceList
- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork:InternalGains
- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork:HVACEquipment
- [.....] RoomAirSettings:AirflowNetwork

Internal Gains

- [0003] People
- [.....] ComfortViewFactorAngles
- [0003] Lights
- [0001] ElectricEquipment
- [.....] GasEquipment
- [.....] HotWaterEquipment
- [.....] SteamEquipment
- [.....] OtherEquipment
- [.....] ElectricEquipment:ITE:AirCooled

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Sets internal gains for electric equipment in the zone. If you use a ZoneList in the Zone or ZoneList name field then this definition applies to all the zones in the ZoneList.

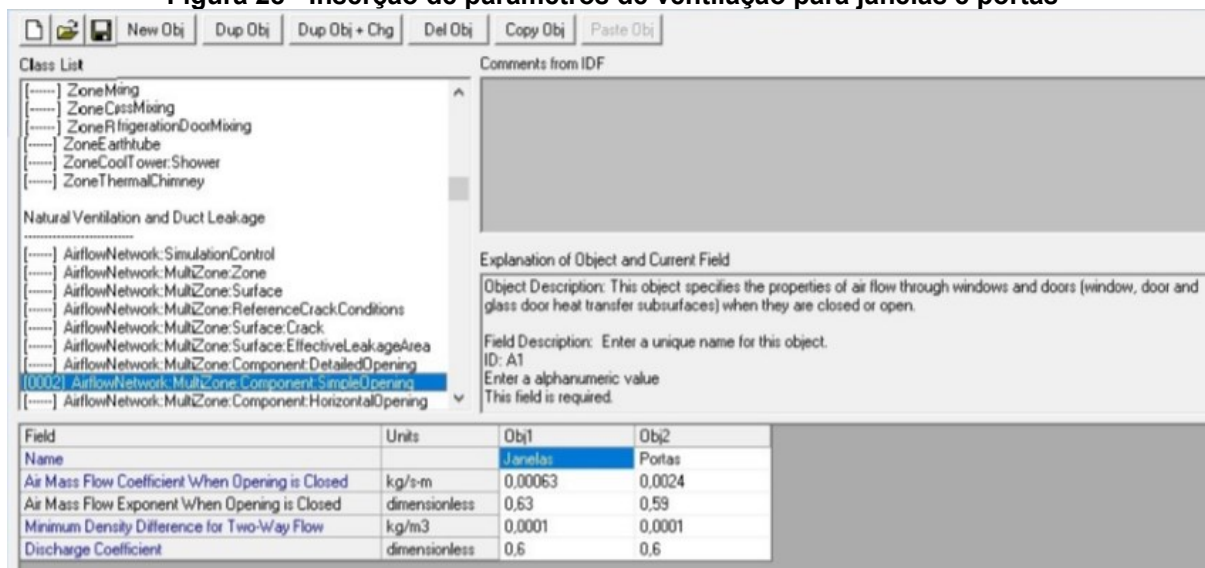
Field Description: ID: N1 No default value available

Field	Units	Obj1
Name		Equipamento
Zone or ZoneList Name		Cozinha/sala
Schedule Name		EquipSala
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel
Design Level	W	120
Watts per Zone Floor Area	W/m2	
Watts per Person	W/person	
Fraction Latent		
Fraction Radiant		
Fraction Lost		
End-Use Subcategory		General

Fonte: Autoria própria (2022)

O próximo passo, e o último para os modelos reais antes da simulação, foi a definição da infiltração pelas frestas das janelas, para isso foram inseridos os coeficientes descritos na Tabela 4, a inserção de tais parâmetros é ilustrada pela Figura 28.

Figura 28 - Inserção de parâmetros de ventilação para janelas e portas



Fonte: Autoria própria (2022)

Por fim foi definido a abertura para ventilação nas esquadrias, seguindo o que é disposto na ABNT NBR 15575-1, foi permitida a abertura das janelas apenas quando o APP estiver ocupado, e seguindo dois critérios em relação a temperatura:

- temperatura de bulbo seco interna do APP igual ou superior a 19°C;
- temperatura de bulbo seco interna superior à temperatura de bulbo seco externa.

Além disso as janelas dos APP, quando fechadas, devem considerar infiltração por frestas, seguindo os parâmetros da Tabela 4. Seguindo também os padrões estabelecidos pela ABNT NBR 15575-1 as janelas dos APT foram consideradas sempre fechadas e com infiltração por frestas, exceção as janelas dos banheiros, consideradas sempre abertas.

No parâmetro *Thermal Comfort Temperature Boundary Point* (ponto limite de temperatura de conforto térmico) foi utilizado 8°C que é a diferença das faixas de temperatura operativa do intervalo 1 de temperaturas externas, como é mostrado na Tabela 2.

Ao fim de todos os procedimentos descritos nos parágrafos acima foi possível executar a simulação. O software Energy Plus produz planilhas editáveis do Excel com os resultados encontrados nas simulações.

5 RESULTADOS

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos através das simulações computacionais para os pavimentos analisados da edificação de estudo.

5.1.1 Pavimento primeiro piso

Ao final das simulações é gerado um arquivo com resultados, ele apresenta os dados analisados para todas as horas dos trezentos e sessenta e cinco dias do ano. Primeiramente é necessário rearrumar essa planilha com o intuito de facilitar a análise dos dados.

Após essa etapa foram realizados os cálculos para o modelo de referência. O primeiro ponto a ser analisado foi o percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT_{APP}), para esse cálculo foi utilizado a Equação 4.

Dessa forma foi preciso definir o número de horas em que o APP se encontra ocupado e com temperaturas operativas dentro da faixa de temperatura operativa (Nh_{FT}) para cada um dos ambientes de permanência prolongada dos dois apartamentos do primeiro pavimento, os valores obtidos são os apresentados a seguir:

- Apartamento 101
 - Sala/cozinha: Nh_{FT} = 2422
 - Dormitório: Nh_{FT} = 2420
 - Suíte: Nh_{FT} = 2609

- Apartamento 102
 - Sala/cozinha: Nh_{FT} = 2418
 - Dormitório: Nh_{FT} = 2414
 - Suíte: Nh_{FT} = 2615

Já para o número de horas em que o APP é ocupado ao longo do ano (Nh_{Ocup}) são utilizados os valores dispostos na ABNT NBR 15575-1, sendo 2920 horas para salas e 3650 horas para dormitórios. Encontrando os seguintes resultados:

- Apartamento 101

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{Ocup}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$PHFTAPP = \frac{2422}{2920} \times 100 = 82,95\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2420}{3650} \times 100 = 66,30\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2609}{3650} \times 100 = 71,48\%$$

- Apartamento 102

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{Ocup}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$PHFTAPP = \frac{2418}{2920} \times 100 = 82,81\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2414}{3650} \times 100 = 66,14\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2615}{3650} \times 100 = 71,64\%$$

Em seguida o mesmo procedimento foi executado para o modelo real.

- Apartamento 101

- Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2513$

- Dormitório: $Nh_{FT} = 2319$

- Suíte: $Nh_{FT} = 2625$

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{Ocup}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$PHFTAPP = \frac{2513}{2920} \times 100 = 86,06\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2319}{3650} \times 100 = 63,53\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2625}{3650} \times 100 = 71,92\%$$

- Apartamento 102

- Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2519$
- Dormitório: $Nh_{FT} = 2325$
- Suíte: $Nh_{FT} = 2630$

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{ocup}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$PHFTAPP = \frac{2519}{2920} \times 100 = 86,27\%$$

- Dormitório:

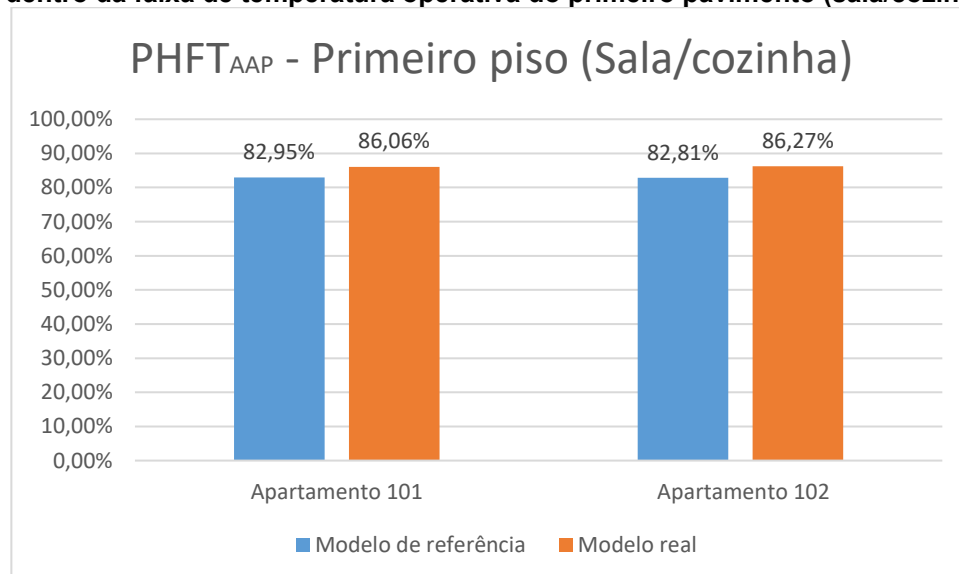
$$PHFTAPP = \frac{2325}{3650} \times 100 = 63,70\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2630}{3650} \times 100 = 72,05\%$$

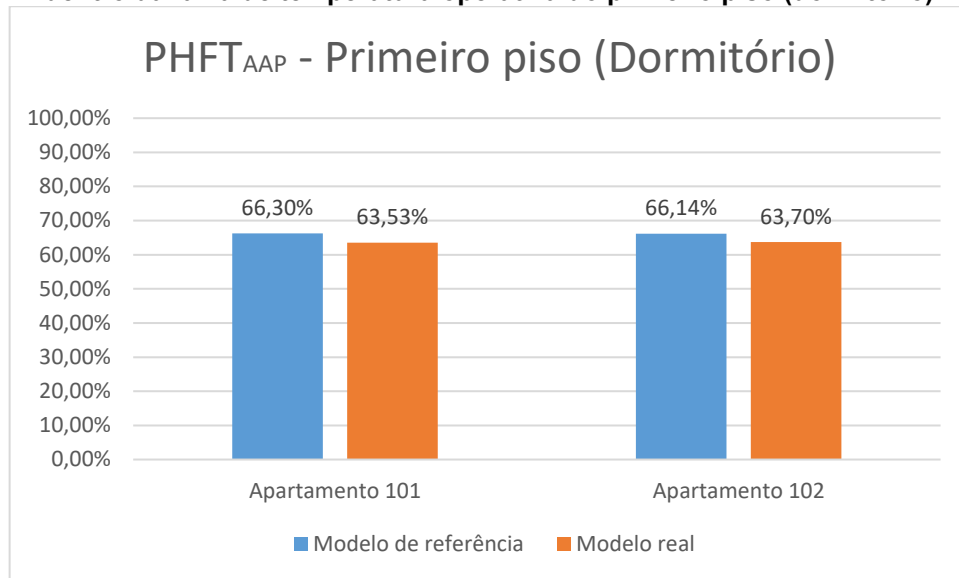
E a partir dos resultados encontrados foi possível fazer uma comparação entre os valores do modelo de referência e modelo real, essa comparação está descrita nas Figuras 29, 30 e 31.

Figura 29 - Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do primeiro pavimento (sala/cozinha)



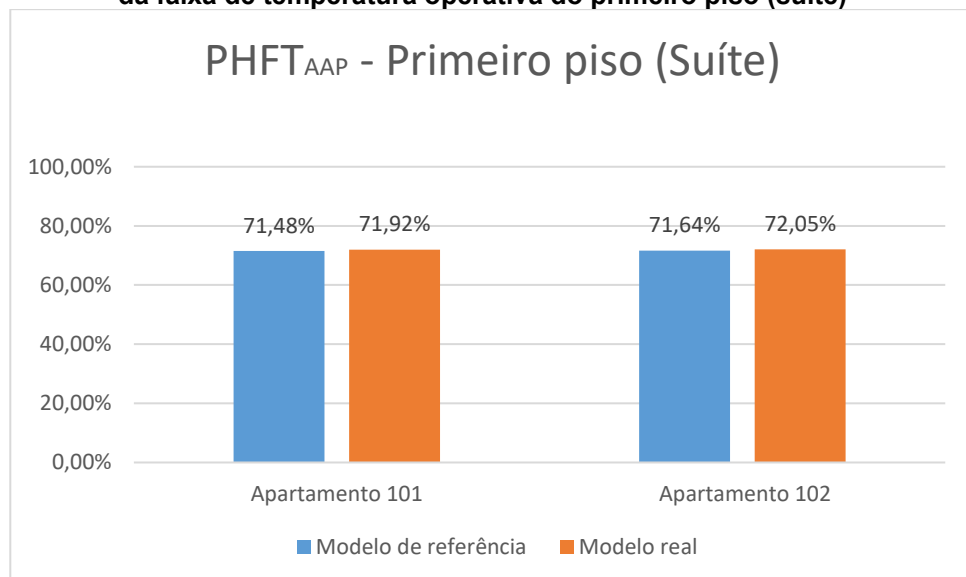
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 30 - Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do primeiro piso (dormitório)



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 31 Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do primeiro piso (suíte)



Fonte: Autoria própria (2022)

Em seguida calculou-se o percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa ($PHFT_{UH}$), por meio da Equação 5.

- Modelo de referencia
 - Apartamento 101

$$PHFT_{UH} = \frac{\sum_{i=1}^n PHFT_{APP,i}}{n}$$

Equação 5

$$PHFT_{UH} = \frac{82,95+66,30+71,48}{3} = 73,58\%$$

- Apartamento 202

$$PHFT_{UH} = \frac{82,81+66,14+71,64}{3} = 73,53\%$$

- Modelo real

- Apartamento 101

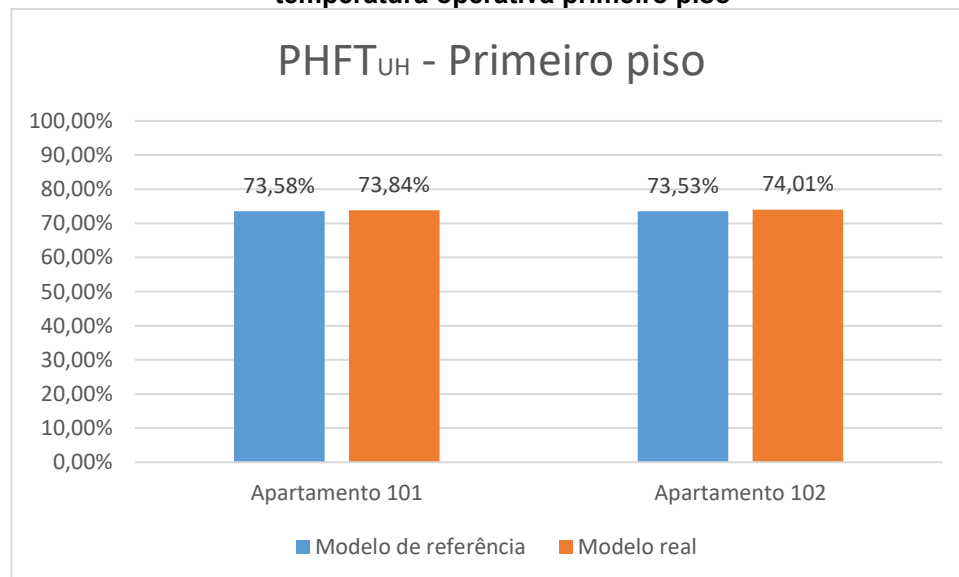
$$PHFT_{UH} = \frac{86,06+63,53+71,92}{3} = 73,84\%$$

- Apartamento 102

$$PHFT_{UH} = \frac{86,27+63,70+72,05}{3} = 74,01\%$$

Depois de calculado o $PHFT_{UH}$ para o modelo real e de referência foi feito uma comparação entre os valores, expressa na Figura 32.

Figura 32 - Percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa primeiro piso



Fonte: Autoria própria (2022)

Após os cálculos foi verificado que o primeiro piso da edificação estudada está de acordo com a Tabela 3, onde $PHFT_{UH,real} > 0,9$. $PHFT_{UH,ref}$, ou seja, o percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura do

modelo real, é maior que 90% do percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura do modelo de referência.

Para o segundo critério de verificação utilizou-se as Equações 6 e 7, onde a primeira indica que a temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional no modelo real deve ser menor ou igual a temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional no modelo de referência acrescidos de um valor de tolerância da temperatura operativa anual máxima (1°C) para o primeiro pavimento.

Já a segunda indica que a temperatura operativa anual mínima da unidade habitacional no modelo real deve ser maior ou igual a temperatura operativa anual mínima da unidade habitacional no modelo de referência decrescido de um valor de tolerância da temperatura operativa anual máxima (1°C).

Para isso foram analisadas as temperaturas operativas máximas e mínimas de cada um dos ambientes de permanência prolongada dos dois apartamentos, conforme ilustra o Quadro 10.

Quadro 10 - Temperaturas operativas máximas e mínimas primeiro piso

PRIMEIRO PISO - REFERÊNCIA						
	APARTAMENTO 101			APARTAMENTO 102		
	SALA/ COZINHA	QUARTO	SUÍTE	SALA/ COZINHA	QUARTO	SUÍTE
MÁXIMA ($^{\circ}\text{C}$)	27,17	26,37	28,01	27,19	26,50	27,97
MÍNIMA ($^{\circ}\text{C}$)	11,19	10,95	11,15	11,19	10,95	11,13
PRIMEIRO PISO - REAL						
	APARTAMENTO 101			APARTAMENTO 102		
	SALA/ COZINHA	QUARTO	SUÍTE	SALA/ COZINHA	QUARTO	SUÍTE
MÁXIMA ($^{\circ}\text{C}$)	26,51	25,35	26,77	26,57	25,33	26,72
MÍNIMA ($^{\circ}\text{C}$)	12,54	12,89	12,51	12,54	12,87	12,51

Fonte: Autoria própria (2022)

Após a determinação das temperaturas máximas e mínimas para todos os APP de cada um dos apartamentos do primeiro pavimento, é considerada a temperatura máxima e mínima encontrada, como mostrado a seguir:

- Apartamento 101
 - Temperatura máxima modelo de referência:
28,01°C
 - Temperatura máxima modelo de real:
26,77°C
 - Temperatura mínima modelo de referência:
10,95°C
 - Temperatura mínima modelo real:
12,51°C

- Apartamento 102
 - Temperatura máxima modelo de referência:
27,97°C
 - Temperatura máxima modelo de real:
26,72°C
 - Temperatura mínima modelo de referência:
10,95°C
 - Temperatura mínima modelo real:
12,51°C

Assim, temos:

- Apartamento 101

$$TomáxUH,real \leq TomáxUH,ref + \Delta Tomáx \quad \text{Equação 6}$$

$$26,77 \leq 28,01 + 1$$

$$26,77 \leq 29,01$$

$$TomínUH,real \geq TomínUH,ref - \Delta Tomín \quad \text{Equação 7}$$

$$12,51 \geq 10,95 - 1$$

$$12,51 \geq 09,95$$

- Apartamento 102

$$TomáxUH,real \leq TomáxUH,ref + \Delta Tomáx \quad \text{Equação 6}$$

$$26,72 \leq 27,97 + 1$$

$$26,72 \leq 28,97$$

$$TomínUH,real \geq TomínUH,ref - \Delta Tomín \quad \text{Equação 7}$$

$$12,51 \geq 10,95 - 1$$

$$12,51 \geq 09,95$$

Logo, todos os apartamentos do primeiro pavimento atendem aos critérios para a temperatura operativa anual máxima e para temperatura operativa anual mínima.

5.1.2 Pavimento tipo

Para o pavimento tipo foram analisados os quatro apartamentos contidos no andar, e a análise dos resultados transcorre de maneira análoga ao do primeiro piso, analisando inicialmente o modelo de referência. Primeiramente foi analisado o percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa ($PHFT_{APP}$) por meio da Equação 4, para isso inicialmente foi definido o Nh_{FT} por meio da planilha de resultados, para cada ambiente de permanência prolongada, obtendo-se os seguintes valores:

- Apartamento 201
 - Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2424$
 - Dormitório: $Nh_{FT} = 2415$
 - Suíte: $Nh_{FT} = 2613$
- Apartamento 202
 - Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2428$
 - Dormitório: $Nh_{FT} = 2417$
 - Suíte: $Nh_{FT} = 2612$
- Apartamento 203
 - Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2416$
 - Dormitório: $Nh_{FT} = 2412$
 - Suíte: $Nh_{FT} = 2609$

- Apartamento 204
 - Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2414$
 - Dormitório: $Nh_{FT} = 2411$
 - Suíte: $Nh_{FT} = 2606$

Para o número de horas em que o APP é ocupado ao longo do ano (Nh_{Ocup}) assim como para o primeiro piso foram utilizados os valores dispostos na ABNT NBR 15575-1, sendo 2920 horas para salas e 3650 horas para dormitórios. Foram encontrando os seguintes resultados:

- Apartamento 201

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{Ocup}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$PHFTAPP = \frac{2424}{2920} \times 100 = 83,01\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2415}{3650} \times 100 = 66,16\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2613}{3650} \times 100 = 71,59\%$$

- Apartamento 202

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{Ocup}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$PHFTAPP = \frac{2424}{2920} \times 100 = 83,15\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2415}{3650} \times 100 = 66,22\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2613}{3650} \times 100 = 71,56\%$$

- Apartamento 203

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{NhFT}{NhOcup} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$PHFTAPP = \frac{2424}{2920} \times 100 = 82,74\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2415}{3650} \times 100 = 66,08\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2613}{3650} \times 100 = 71,48\%$$

- Apartamento 204

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{NhFT}{NhOcup} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$PHFTAPP = \frac{2424}{2920} \times 100 = 82,67\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2415}{3650} \times 100 = 66,05\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2613}{3650} \times 100 = 71,40\%$$

Em seguida o mesmo procedimento foi executado para o modelo real.

- Apartamento 201

- Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2513$

- Dormitório: $Nh_{FT} = 2326$

- Suíte: $Nh_{FT} = 2627$

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{NhFT}{NhOcup} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$PHFTAPP = \frac{2513}{2920} \times 100 = 86,06\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2326}{3650} \times 100 = 63,73\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2627}{3650} \times 100 = 71,97\%$$

- Apartamento 202

- Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2519$
- Dormitório: $Nh_{FT} = 2330$
- Suíte: $Nh_{FT} = 2623$

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{Ocup}} \times 100$$

Equação 4

$$PHFTAPP = \frac{2519}{2920} \times 100 = 86,27\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2330}{3650} \times 100 = 63,84\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2623}{3650} \times 100 = 71,86\%$$

- Apartamento 203

- Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2511$
- Dormitório: $Nh_{FT} = 2322$
- Suíte: $Nh_{FT} = 2620$

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{Ocup}} \times 100$$

Equação 4

$$PHFTAPP = \frac{2511}{2920} \times 100 = 85,99\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2322}{3650} \times 100 = 63,62\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2620}{3650} \times 100 = 71,78\%$$

- Apartamento 204

- Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2510$
- Dormitório: $Nh_{FT} = 2320$
- Suíte: $Nh_{FT} = 2617$

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{ocup}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$PHFTAPP = \frac{2510}{2920} \times 100 = 85,96\%$$

- Dormitório:

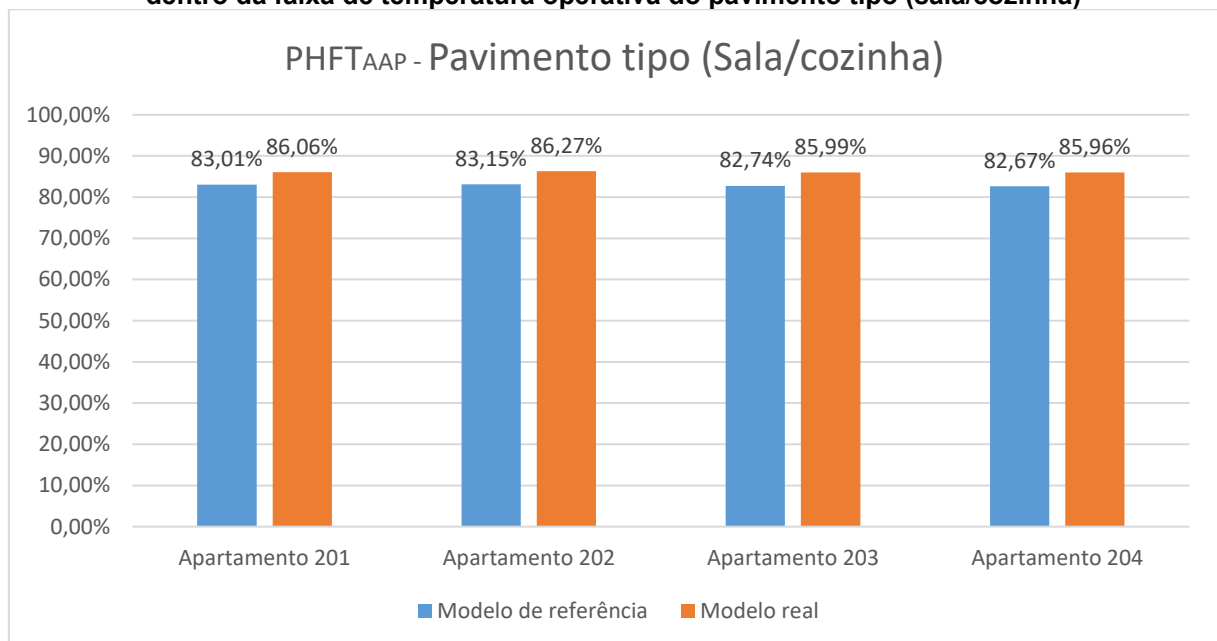
$$PHFTAPP = \frac{2320}{3650} \times 100 = 63,56\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2617}{3650} \times 100 = 71,70\%$$

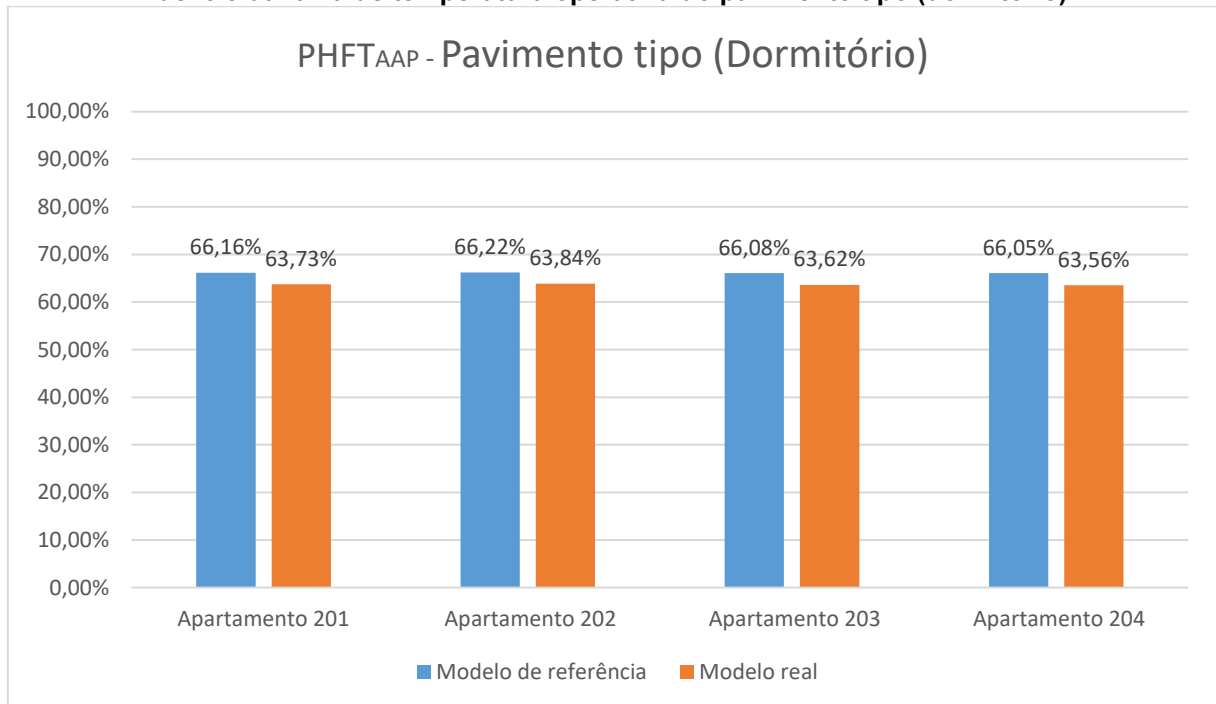
E a partir dos resultados encontrados foi possível fazer uma comparação entre os valores do modelo de referência e modelo real para cada um dos apartamentos, essa comparação está contida nas Figuras 33, 34 e 35.

Figura 33 - Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do pavimento tipo (sala/cozinha)



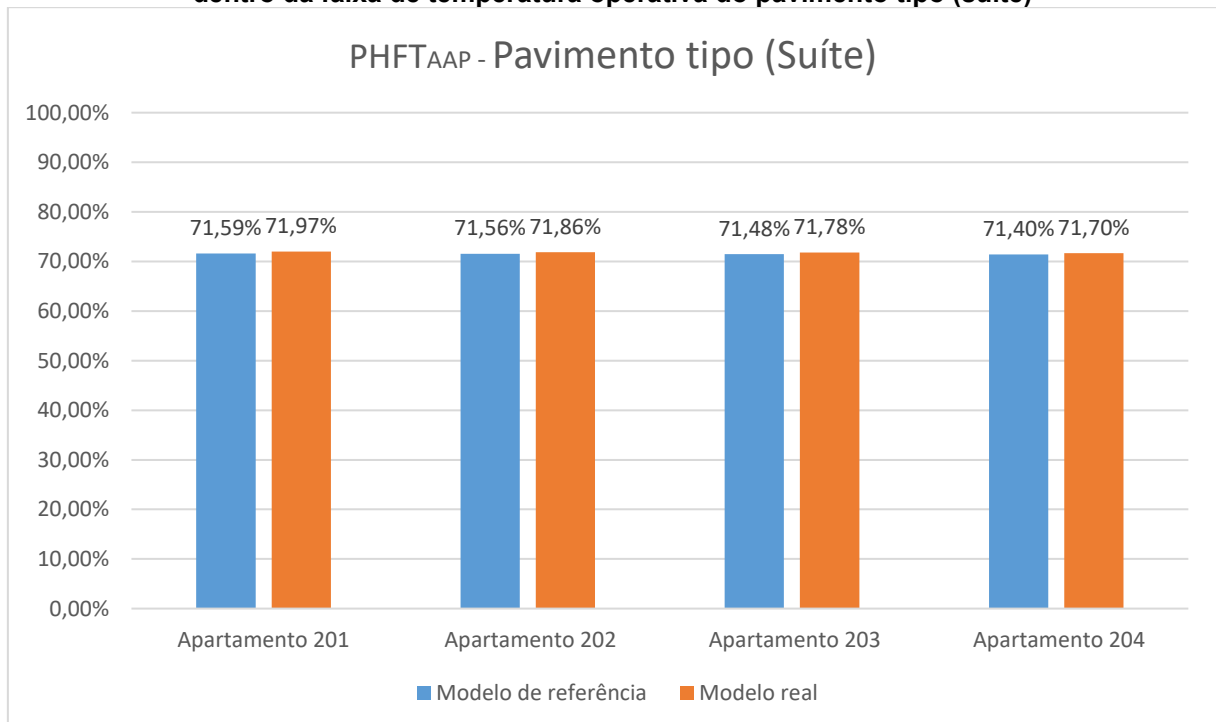
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 34 - Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do pavimento tipo (dormitório)



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 35 - Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do pavimento tipo (suíte)



Fonte: Autoria própria (2022)

O próximo passo foi efetuar o cálculo do percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa por meio da Equação 5, primeiramente para o modelo de referência e em seguida para o modelo real.

- Modelo de referencia

- Apartamento 201

$$PHFTUH = \frac{\sum_{i=1}^n PHFTAPP,i}{n} \quad \text{Equação 5}$$

$$PHFTUH = \frac{83,01+66,16+71,59}{3} = 73,59\%$$

- Apartamento 202

$$PHFTUH = \frac{83,13+66,22+71,56}{3} = 73,64\%$$

- Apartamento 203

$$PHFTUH = \frac{82,74+66,08+71,48}{3} = 73,43\%$$

- Apartamento 204

$$PHFTUH = \frac{82,67+66,05+71,40}{3} = 73,37\%$$

- Modelo real

- Apartamento 201

$$PHFTUH = \frac{86,06+63,73+71,97}{3} = 73,92\%$$

- Apartamento 202

$$PHFTUH = \frac{86,27+63,84+71,86}{3} = 73,99\%$$

- Apartamento 203

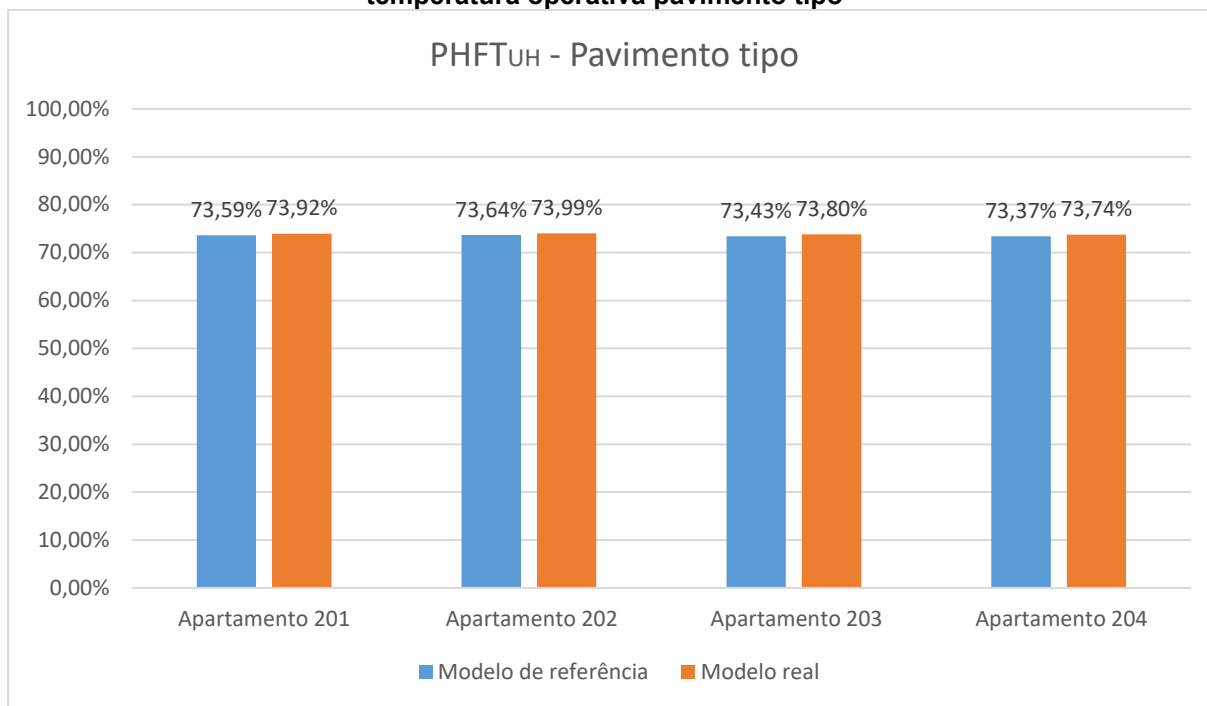
$$PHFTUH = \frac{85,99+63,62+71,78}{3} = 73,80\%$$

- Apartamento 204

$$PHFTUH = \frac{85,96+63,56+71,70}{3} = 73,74\%$$

Por meio dos cálculos efetuados acima foi encontrado os valores contidos na Figura 36.

Figura 36 - Percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa pavimento tipo



Fonte: Autoria própria (2022)

Dessa forma foi verificado que o pavimento tipo da edificação estudada está de acordo com a Tabela 3, onde $PHFT_{UH,real} > 0,9 \cdot PHFT_{UH,ref}$, sendo verificado que o percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura do modelo real, é maior que 90% do percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura do modelo de referência.

Para o segundo critério de verificação utilizou-se as Equações 6 e 7, onde a primeira indica que a temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional no modelo real deve ser menor ou igual a temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional no modelo de referência acrescidos de um valor de tolerância da temperatura operativa anual máxima (1°C) para o pavimento tipo.

Já a segunda indica que a temperatura operativa anual mínima da unidade habitacional no modelo real deve ser maior ou igual a temperatura operativa anual mínima da unidade habitacional no modelo de referência decrescido de um valor de tolerância da temperatura operativa anual máxima (1°C).

Para isso foram analisadas as temperaturas operativas máximas e mínimas de cada ambiente de permanência prolongada, conforme ilustra o Quadro 11.

Quadro 11 - Temperaturas operativas máximas e mínimas pavimento tipo

PAVIMENTO TIPO - REFERÊNCIA												
	APARTAMENTO 201			APARTAMENTO 202			APARTAMENTO 203			APARTAMENTO 204		
	SALA/ COZINHA	QUARTO	SUÍTE	SALA/ COZINHA	QUARTO	SUÍTE	SALA/ COZINHA	QUARTO	SUÍTE	SALA/ COZINHA	QUARTO	SUÍTE
MÁXIMA (°C)	27,09	26,18	27,92	27,09	26,19	27,92	27,17	26,31	27,95	27,19	26,31	27,94
MÍNIMA (°C)	11,02	10,81	11,07	11,02	10,79	11,12	11,19	10,93	11,15	11,19	10,94	11,13
PAVIMENTO TIPO - REAL												
	APARTAMENTO 201			APARTAMENTO 202			APARTAMENTO 203			APARTAMENTO 204		
	SALA/ COZINHA	QUARTO	SUÍTE	SALA/ COZINHA	QUARTO	SUÍTE	SALA/ COZINHA	QUARTO	SUÍTE	SALA/ COZINHA	QUARTO	SUÍTE
MÁXIMA (°C)	26,40	25,25	26,70	26,40	25,27	26,71	26,50	25,32	26,74	26,51	25,33	26,71
MÍNIMA (°C)	12,54	12,83	12,38	12,52	12,83	12,41	12,55	12,87	12,49	12,55	12,89	12,52

Fonte: Autoria própria (2022)

Depois de determinada as temperaturas máximas e mínimas para todos os APP de cada um dos apartamentos do pavimento tipo, é considerada a temperatura máxima e mínima encontrada, como mostrado a seguir:

- Apartamento 201
 - Temperatura máxima modelo de referência:
27,92°C
 - Temperatura máxima modelo de real:
26,70°C
 - Temperatura mínima modelo de referência:
10,81°C
 - Temperatura mínima modelo real:
12,38°C
- Apartamento 202
 - Temperatura máxima modelo de referência:
27,92°C
 - Temperatura máxima modelo de real:
26,71°C

- Temperatura mínima modelo de referência:
10,79°C
- Temperatura mínima modelo real:
12,41°C
- Apartamento 203
 - Temperatura máxima modelo de referência:
27,95°C
 - Temperatura máxima modelo de real:
26,74°C
 - Temperatura mínima modelo de referência:
10,93°C
 - Temperatura mínima modelo real:
12,49°C
- Apartamento 204
 - Temperatura máxima modelo de referência:
27,94°C
 - Temperatura máxima modelo de real:
26,71°C
 - Temperatura mínima modelo de referência:
10,94°C
 - Temperatura mínima modelo real:
12,52°C

Dessa forma, temos:

- Apartamento 201

$$TomáxUH,real \leq TomáxUH,ref + \Delta Tomáx \quad \text{Equação 6}$$

$$26,70 \leq 27,92 + 1$$

$$26,70 \leq 28,92$$

$$TomínUH,real \geq TomínUH,ref - \Delta Tomín \quad \text{Equação 7}$$

$$12,83 \geq 11,07 - 1$$

$$12,83 \geq 10,07$$

- Apartamento 202

$$TomáxUH,real \leq TomáxUH,ref + \Delta Tomáx \quad \text{Equação 6}$$

$$26,71 \leq 27,92 + 1$$

$$26,71 \leq 28,92$$

$$TomínUH,real \geq TomínUH,ref - \Delta Tomín \quad \text{Equação 7}$$

$$12,41 \geq 10,79 - 1$$

$$12,41 \geq 9,79$$

- Apartamento 203

$$TomáxUH,real \leq TomáxUH,ref + \Delta Tomáx \quad \text{Equação 6}$$

$$26,74 \leq 27,95 + 1$$

$$26,74 \leq 28,95$$

$$TomínUH,real \geq TomínUH,ref - \Delta Tomín \quad \text{Equação 7}$$

$$12,49 \geq 10,93 - 1$$

$$12,49 \geq 10,93$$

- Apartamento 204

$$TomáxUH,real \leq TomáxUH,ref + \Delta Tomáx \quad \text{Equação 6}$$

$$26,71 \leq 27,94 + 1$$

$$26,71 \leq 28,94$$

$$TomínUH,real \geq TomínUH,ref - \Delta Tomín \quad \text{Equação 7}$$

$$12,52 \geq 10,94 - 1$$

$$12,52 \geq 9,94$$

Portanto todos os apartamentos do pavimento tipo atendem aos critérios para a temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional e para temperatura operativa anual mínima da unidade habitacional.

5.1.3 Pavimento de cobertura

Para os procedimentos realizados para o pavimento de cobertura foram analisados os quatro apartamentos contidos no andar, e inicialmente foi analisado o modelo de referência. Primeiramente foi analisado o percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa ($PHFT_{APP}$) por meio da Equação 4, para isso inicialmente foi definido o Nh_{FT} por meio da planilha de resultados, para cada ambiente de permanência prolongada, obtendo-se os seguintes valores:

- Apartamento 601
 - Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2412$
 - Dormitório: $Nh_{FT} = 2408$
 - Suíte: $Nh_{FT} = 2607$

- Apartamento 602
 - Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2409$
 - Dormitório: $Nh_{FT} = 2414$
 - Suíte: $Nh_{FT} = 2611$

- Apartamento 603
 - Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2403$
 - Dormitório: $Nh_{FT} = 2411$
 - Suíte: $Nh_{FT} = 2601$

- Apartamento 604
 - Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2415$
 - Dormitório: $Nh_{FT} = 2407$
 - Suíte: $Nh_{FT} = 2603$

Para o número de horas em que o APP é ocupado ao longo do ano (Nh_{Ocup}) assim como para o pavimento tipo foram utilizados os valores dispostos na ABNT NBR 15575-1, sendo 2920 horas para salas e 3650 horas para dormitórios. Foram encontrados os seguintes resultados:

- Apartamento 601

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{NhFT}{NhOcup} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$PHFTAPP = \frac{2412}{2920} \times 100 = 82,60\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2408}{3650} \times 100 = 65,97\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2607}{3650} \times 100 = 71,42\%$$

- Apartamento 602

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{NhFT}{NhOcup} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$PHFTAPP = \frac{2409}{2920} \times 100 = 82,50\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2414}{3650} \times 100 = 66,14\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2611}{3650} \times 100 = 71,53\%$$

- Apartamento 603

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{NhFT}{NhOcup} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$PHFTAPP = \frac{2403}{2920} \times 100 = 82,29\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2411}{3650} \times 100 = 66,05\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2601}{3650} \times 100 = 71,26\%$$

- Apartamento 604

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{Ocup}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$PHFTAPP = \frac{2415}{2920} \times 100 = 82,71\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2407}{3650} \times 100 = 65,95\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2603}{3650} \times 100 = 71,32\%$$

Em seguida o mesmo procedimento foi executado para o modelo real.

- Apartamento 601

- Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2434$
- Dormitório: $Nh_{FT} = 2306$
- Suíte: $Nh_{FT} = 2617$

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{Ocup}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$PHFTAPP = \frac{2434}{2920} \times 100 = 83,36\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2306}{3650} \times 100 = 63,18\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2617}{3650} \times 100 = 71,70\%$$

- Apartamento 602

- Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2417$
- Dormitório: $Nh_{FT} = 2298$
- Suíte: $Nh_{FT} = 2620$

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{Ocup}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$PHFTAPP = \frac{2417}{2920} \times 100 = 82,77\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2298}{3650} \times 100 = 62,96\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2620}{3650} \times 100 = 71,78\%$$

- Apartamento 603

- Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2415$

- Dormitório: $Nh_{FT} = 2295$

- Suíte: $Nh_{FT} = 2610$

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{Ocup}} \times 100$$

Equação 4

$$PHFTAPP = \frac{2415}{2920} \times 100 = 82,71\%$$

- Dormitório:

$$PHFTAPP = \frac{2295}{3650} \times 100 = 62,88\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2610}{3650} \times 100 = 71,51\%$$

- Apartamento 604

- Sala/cozinha: $Nh_{FT} = 2430$

- Dormitório: $Nh_{FT} = 2292$

- Suíte: $Nh_{FT} = 2607$

- Sala/cozinha:

$$PHFTAPP = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{Ocup}} \times 100$$

Equação 4

$$PHFTAPP = \frac{2430}{2920} \times 100 = 83,22\%$$

- Dormitório:

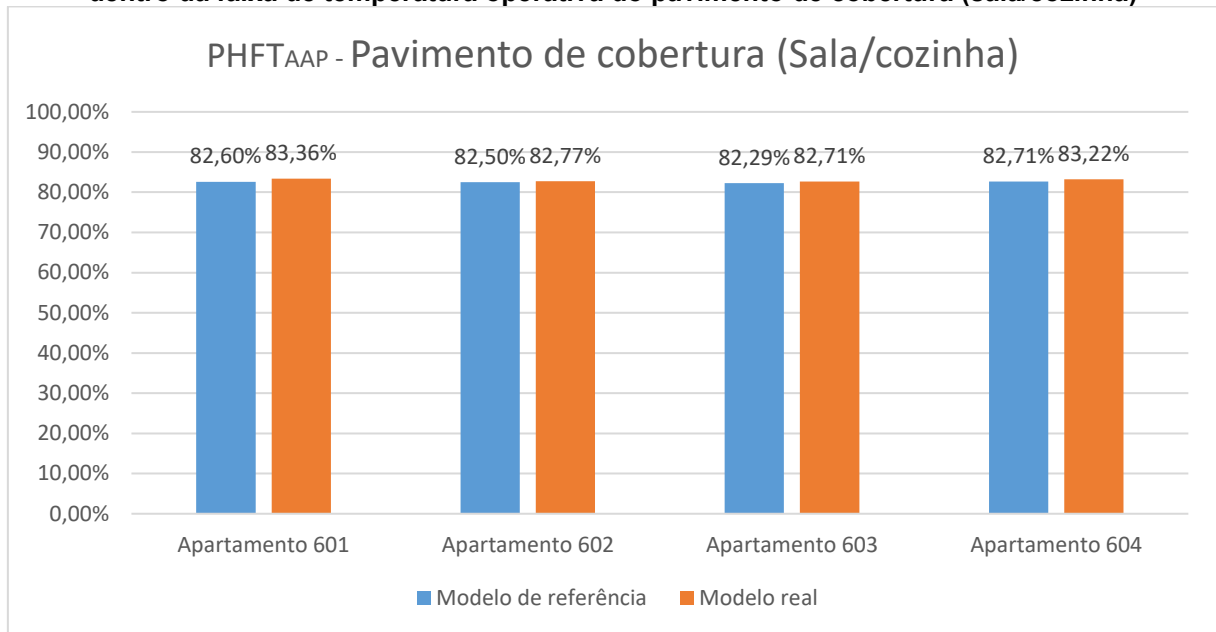
$$PHFTAPP = \frac{2292}{3650} \times 100 = 62,79\%$$

- Suíte:

$$PHFTAPP = \frac{2607}{3650} \times 100 = 71,42\%$$

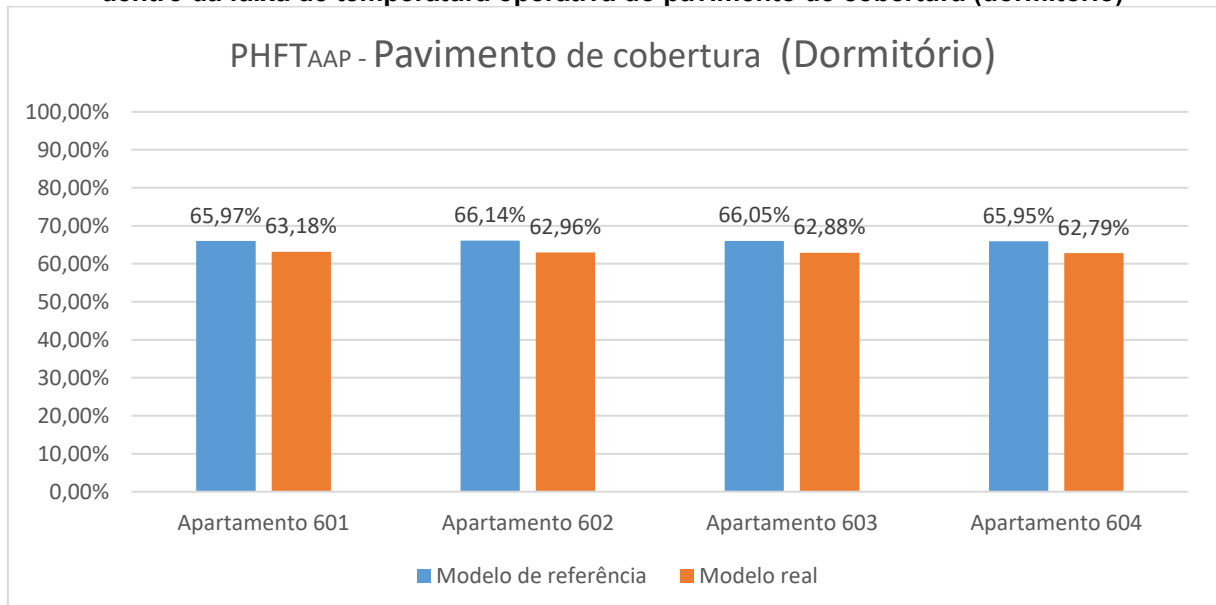
E a partir dos resultados encontrados foi possível fazer uma comparação entre os valores do modelo de referência e modelo real para cada um dos apartamentos, essa comparação está contida nas Figuras 37, 38 e 39.

Figura 37 - Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do pavimento de cobertura (sala/cozinha)



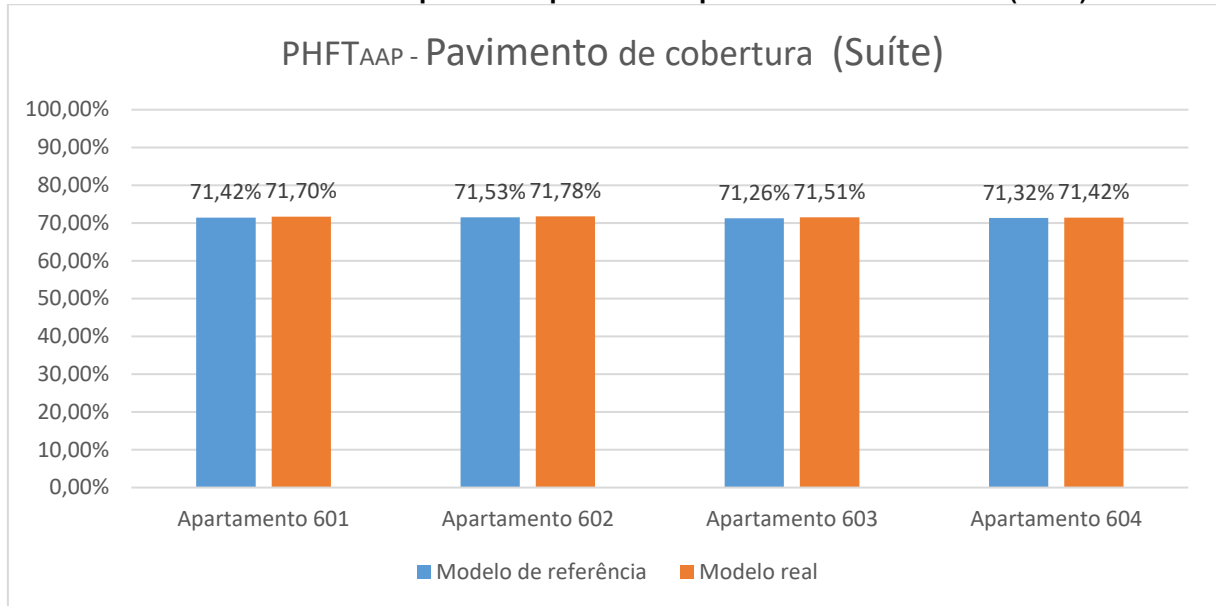
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 38 - Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do pavimento de cobertura (dormitório)



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 39 - Percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa do pavimento de cobertura (suíte)



Fonte: Autoria própria (2022)

O próximo passo foi efetuar o cálculo do percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa por meio da Equação 5, primeiramente para o modelo de referência e em seguida para o modelo real.

- Modelo de referencia
 - Apartamento 601

$$PHFTUH = \frac{\sum_{i=1}^n PHFTAAP,i}{n} \quad \text{Equação 5}$$

$$PHFTUH = \frac{82,60+65,97+71,42}{3} = 73,33\%$$

- Apartamento 602

$$PHFTUH = \frac{82,50+66,14+71,53}{3} = 73,39\%$$

- Apartamento 603

$$PHFTUH = \frac{82,29+66,05+71,26}{3} = 73,20\%$$

- Apartamento 604

$$PHFTUH = \frac{82,71+65,95+71,32}{3} = 73,32\%$$

- Modelo real
 - Apartamento 601

$$PHFT_{UH} = \frac{83,36+63,18+71,70}{3} = 72,74\%$$

- Apartamento 602

$$PHFT_{UH} = \frac{82,77+62,96+71,78}{3} = 72,50\%$$

- Apartamento 603

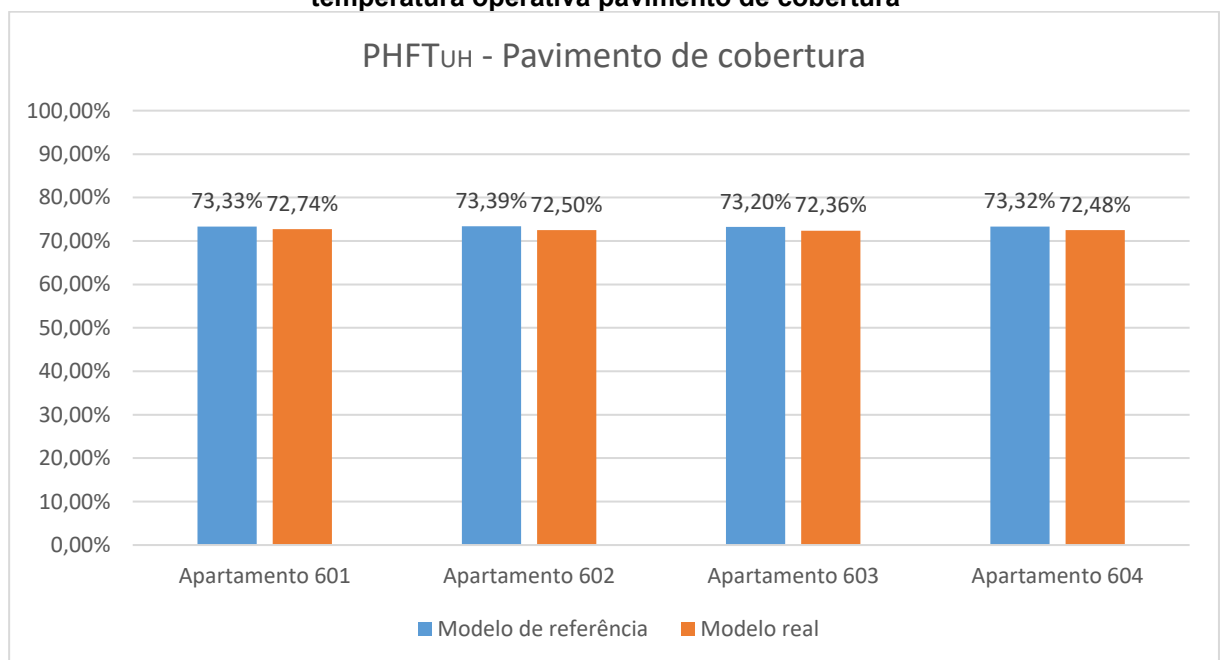
$$PHFT_{UH} = \frac{82,71+62,88+71,51}{3} = 72,36\%$$

- Apartamento 604

$$PHFT_{UH} = \frac{83,22+62,79+71,42}{3} = 72,48\%$$

Por meio dos cálculos efetuados acima foi encontrado os valores contidos na Figura 40.

Figura 40 - Percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa pavimento de cobertura



Fonte: Autoria própria (2022)

Dessa forma foi verificado que o pavimento de cobertura da edificação estudada está de acordo com a Tabela 3, onde $PHFT_{UH,real} > 0,9$. $PHFT_{UH,ref}$, sendo verificado que o percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura do modelo real, é maior que 90% do percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura do modelo de referência.

Para o segundo critério de verificação utilizou-se as Equações 6 e 7, onde a primeira indica que a temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional no modelo real deve ser menor ou igual a temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional no modelo de referência acrescidos de um valor de tolerância da temperatura operativa anual máxima (2°C) para o pavimento de cobertura.

Já a segunda indica que a temperatura operativa anual mínima da unidade habitacional no modelo real deve ser maior ou igual a temperatura operativa anual mínima da unidade habitacional no modelo de referência decrescido de um valor de tolerância da temperatura operativa anual máxima (1°C).

Para isso foi analisado as temperaturas operativas máximas e mínimas do pavimento de cobertura, como mostra o Quadro 12.

Quadro 12 - Temperaturas operativas máximas e mínimas pavimento de cobertura

PAVIMENTO DE COBERTURA - REFERÊNCIA												
	APARTAMENTO 601			APARTAMENTO 602			APARTAMENTO 603			APARTAMENTO 604		
	SALA/COZINHA	QUARTO	SUÍTE	SALA/COZINHA	QUARTO	SUÍTE	SALA/COZINHA	QUARTO	SUÍTE	SALA/COZINHA	QUARTO	SUÍTE
MÁXIMA ($^{\circ}\text{C}$)	28,59	27,37	29,02	28,53	27,39	28,90	28,61	27,43	29,08	28,61	27,49	29,07
MÍNIMA ($^{\circ}\text{C}$)	10,23	10,81	10,67	10,19	10,79	10,71	10,27	10,84	10,87	10,31	10,87	10,94
PAVIMENTO DE COBERTURA - REAL												
	APARTAMENTO 601			APARTAMENTO 602			APARTAMENTO 603			APARTAMENTO 604		
	SALA/COZINHA	QUARTO	SUÍTE	SALA/COZINHA	QUARTO	SUÍTE	SALA/COZINHA	QUARTO	SUÍTE	SALA/COZINHA	QUARTO	SUÍTE
MÁXIMA ($^{\circ}\text{C}$)	29,07	28,52	29,57	29,05	28,51	29,40	29,73	29,37	29,82	29,59	29,43	29,95
MÍNIMA ($^{\circ}\text{C}$)	10,11	10,17	10,55	10,13	10,25	10,67	10,37	10,81	10,73	10,23	10,69	10,72

Fonte: Autoria própria (2022)

Depois de determinada as temperaturas máximas e mínimas para todos os APP de cada um dos apartamentos do pavimento de cobertura, é considerada a temperatura máxima e mínima encontrada, como mostrado a seguir:

- Apartamento 601
 - Temperatura máxima modelo de referência:
29,09°C
 - Temperatura máxima modelo de real:
29,57°C
 - Temperatura mínima modelo de referência:
10,23°C
 - Temperatura mínima modelo real:
10,11°C

- Apartamento 602
 - Temperatura máxima modelo de referência:
28,90°C
 - Temperatura máxima modelo de real:
29,40°C

 - Temperatura mínima modelo de referência:
10,19°C
 - Temperatura mínima modelo real:
10,13°C

- Apartamento 603
 - Temperatura máxima modelo de referência:
29,08°C
 - Temperatura máxima modelo de real:
29,82°C
 - Temperatura mínima modelo de referência:
10,27°C
 - Temperatura mínima modelo real:
10,37°C

- Apartamento 604
 - Temperatura máxima modelo de referência:
29,07°C

- Temperatura máxima modelo de real:

$$29,95^{\circ}\text{C}$$

- Temperatura mínima modelo de referência:

$$10,31^{\circ}\text{C}$$

- Temperatura mínima modelo real:

$$10,23^{\circ}\text{C}$$

Dessa forma, temos:

- Apartamento 601

$$TomáxUH,real \leq TomáxUH,ref + \Delta Tomáx \quad \text{Equação 6}$$

$$29,57 \leq 29,02 + 2$$

$$29,57 \leq 31,02$$

$$TomínUH,real \geq TomínUH,ref - \Delta Tomín \quad \text{Equação 7}$$

$$10,11 \geq 10,23 - 1$$

$$10,11 \geq 09,23$$

- Apartamento 602

$$TomáxUH,real \leq TomáxUH,ref + \Delta Tomáx \quad \text{Equação 6}$$

$$29,40 \leq 28,90 + 2$$

$$29,40 \leq 30,90$$

$$TomínUH,real \geq TomínUH,ref - \Delta Tomín \quad \text{Equação 7}$$

$$10,13 \geq 10,19 - 1$$

$$10,13 \geq 9,19$$

- Apartamento 603

$$TomáxUH,real \leq TomáxUH,ref + \Delta Tomáx \quad \text{Equação 6}$$

$$29,82 \leq 29,08 + 2$$

$$29,82 \leq 30,08$$

$$TomínUH,real \geq TomínUH,ref - \Delta Tomín \quad \text{Equação 7}$$

$$10,37 \geq 10,27 - 1$$

$$10,37 \geq 9,27$$

- Apartamento 604

$$TomáxUH,real \leq TomáxUH,ref + \Delta Tomáx \quad \text{Equação 6}$$

$$29,95 \leq 29,07 + 2$$

$$29,95 \leq 31,07$$

$$TomínUH,real \geq TomínUH,ref - \Delta Tomín \quad \text{Equação 7}$$

$$10,23 \geq 10,31 - 1$$

$$10,23 \geq 9,31$$

Portanto todos os apartamentos do pavimento tipo atendem aos critérios para a temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional e para temperatura operativa anual mínima da unidade habitacional.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve o objetivo avaliar o desempenho térmico do Edifício Florença localizado em Guarapuava – PR conforme NBR 15575:2021 por meio de simulações em diferentes programas computacionais.

Constatou-se por meio das simulações computacionais realizadas e pela análise dos resultados obtidos por meio das mesmas, que todos os pavimentos analisados da edificação multifamiliar atenderam aos requisitos apresentados na ABNT NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais, para a zona bioclimática 1.

Com resultados melhores para o pavimento primeiro piso e pavimento tipo, já o pavimento de cobertura apresentou temperaturas operativas máximas maiores e temperaturas operativas mínimas menores, embora ainda dentro do limite aceitável. Isso pode ser associado a uma exposição solar maior e mais intensa.

Por meio dos resultados obtidos foi também possível identificar que os apartamentos localizados na parte de trás da edificação apresentam desempenho térmico melhor no inverno, já o desempenho térmico dos apartamentos localizados na parte frontal é melhor no verão. Isso se deve ao fato de os apartamentos frontais estarem localizados à leste, onde se nasce o sol, sendo assim esses apartamentos recebem menor incidência solar, o que minimiza as temperaturas, causando melhora durante o verão, mas trazendo piores resultados no inverno.

Por meio das simulações computacionais é possível prever essas situações e antes do início das obras trazer soluções quanto ao desempenho térmico. No entanto o cuidado com conforto ambiental para os habitantes das edificações ainda é muito pequeno no Brasil, mesmo sendo algo tão importante já que em um ambiente agradável termicamente menos energia será gasta em soluções posteriores.

Por fim pode-se concluir que diversos fatores influenciam no conforto térmico de uma edificação, desde fatores ambientais, como o clima, a incidência solar e a umidade do ar de uma região até técnicas e práticas construtivas e a execução de obra.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, W.V. et al., **Manual de Laboratório de Física** Ed. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, SP, 1a Ed. (1980).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15520: DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES - PARTE 1:** Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15520: DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES - PARTE 2:** Componentes e elementos construtivos – Resistência e transmitância térmica – Métodos de cálculo. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220: DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES - PARTE 3:** Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575 -1: EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS - DESEMPENHO - PARTE 1:** Requisitos Gerais. Rio de Janeiro. 2021.

CENTRO DE GERENCIAMENTO DE EMERGÊNCIAS CLIMÁTICAS DA PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Umidade relativa do ar.** 2020. Disponível em: <https://www.cgesp.org/v3/umidade-relativa-do-ar.jsp>. Acesso em: 5 jun. 2022.

DUARTE, V. C. P. **Desempenho térmico de Edificações.** Universidade Federal de Santa Catarina CTC - Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis. 2016.

GONÇALVES, Helder et al. **Ambiente construído, Clima urbano, Utilização racional de energia nos edifícios da cidade de Lisboa.** Lisboa: INETI, 2004. Disponível em: <https://www.lneg.pt/wpcontent/uploads/2022/03/Brochura_ACLURE_2004.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2022.

GUARAPUAVA, Prefeitura Municipal de. **Sobre Guarapuava.** Disponível em: <https://www.guarapuava.pr.gov.br/conheca-guarapuava/historia/>. Acesso em: 1 jun. 2022.

LAMBERTS, Roberto. **Eficiência energética na arquitetura.** 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2014. 366 p. Disponível em: https://labeeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf. Acesso em: 13 jun. 2022.

Nitsche, P. R.; Caramori, P. H.; Ricce, W. S.; Dias Pinto, L. F. **Atlas Climático do Estado do Paraná.** Instituto Agrônomo do Paraná. Londrina, 2019.

PEIXOTO, Luiza Barrio; DE SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves. Desempenho térmico pela ABNT NBR 15575: versões 2013 e 2021. **Revista Sítio Novo**, v. 7, p. 149-160, 2022.

SCALCO, Veridiana Atanasio. **Método para a avaliação dos impactos de Edificações sobre a iluminação natural e Insolação em vizinhanças urbanas.** 2010. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

SORGATO, Marcio José et al. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, v. 14, p. 83-101, 2014.

SOUZA, Aderson Rodrigues de. **ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO DE ENSINO SUPERIOR EM CAMPINA GRANDE – PB.** 2017. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017. Cap. 5. Disponível em: <http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/2879>. Acesso em: 01 jun. 2022.

ANEXO 1

Absortância (a) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (e) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)

Tipo de superfície		α	ε
Chapa de alumínio (nova e brilhante)		0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)		0,25	0,25
Caiação nova		0,12/0,15	0,90
Concreto aparente		0,65/0,80	0,85/0,95
Telha de barro		0,75/0,80	0,85/0,95
Tijolo aparente		0,65/0,80	0,85/0,95
Reboco claro		0,30/0,50	0,85/0,95
Revestimento asfáltico		0,85/0,98	0,90/0,98
Vidro incolor		0,06/0,25	0,84
Vidro colorido		0,40/0,80	0,84
Vidro metalizado		0,35/0,80	0,15/0,84
Pintura:	Branca	0,20	0,90
	Amarela	0,30	0,90
	Verde clara	0,40	0,90
	"Alumínio"	0,40	0,50
	Verde escura	0,70	0,90
	Vermelha	0,74	0,90
	Preta	0,97	0,90

Fonte: ABNT NBR 15520: Desempenho térmico de edificações – Parte 2.

ANEXO 2

Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	C (kJ/(kg.K))
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,7	0,84
argamassa celular	600-1000	0,4	1
Cerâmica			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,7	0,92
	1300-1600	0,9	0,92
	1600-1800	1	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
Fibrocimento			
placas de fibrocimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
Concreto (com agregados de pedra)			
concreto normal	2200-2400	1,75	1
concreto cavernoso	1700-2100	1,4	1
Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (ρ dos inertes ~750 kg/m³)			
com finos	1400-1600	0,52	1
	1200-1400	0,44	1
sem finos	1000-1200	0,35	1
Concreto com argila expandida			
dosagem de cimento > 300 kg/m ³ , ρ dos inertes > 350 kg/m ³	1600-1800	1,05	1
	1400-1600	0,85	1
	1200-1400	0,7	1
	1000-1200	0,46	1
dosagem de cimento < 250 kg/m ³ , ρ dos inertes < 350 kg/m ³	800-1000	0,33	1
	600-800	0,35	1
	< 600	0,2	1
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida fabricado em obra	600-800	0,31	1
	400-600	0,24	1
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1
	500-600	0,2	1
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1
Gesso			
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,5	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida) dosagem gesso:agregado = 1:1 dosagem gesso:agregado = 1:2	700-900 500-700		
		0,3	0,84
		0,25	0,84

Densidade de massa aparente (r), condutividade térmica (l) e calor específico (c) de materiais

Granulados			
brita ou seixo	1000-1500	0,7	0,8
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,3	2,09
areia (10% de umidade)	1500	0,93	
areia (20% de umidade)	1500	1,33	
areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84
Impermeabilizantes			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	0,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,7
poliestireno expandido moldado	15-35	0,04	1,42
poliestireno extrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,03	1,67
Madeiras e derivados			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,2	2,3
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,3
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,3
	550-650	0,14	2,3
placas prensadas	450-550	0,12	2,3
	350-450	0,1	2,3
placas extrudadas	550-650	0,16	2,3
compensado	450-550	0,15	2,3
	350-450	0,12	2,3
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,3
	350-450	0,12	2,3
	250-350	0,1	2,3
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	
Metais			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38

Densidade de massa aparente (r), condutividade térmica (l) e calor específico (c) de materiais

Pedras (incluindo junta de assentamento)			
granito, gneise	2300-2900	3	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,2	0,84
basalto	2700-3000	1,6	0,84
calcários/mármore	> 2600	2,9	0,84
outras	2300-2600	2,4	0,84
	1900-2300	1,4	0,84
	1500-1900	1	0,84
	< 1500	0,85	0,84
Plástico			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,4	
polimetacrilicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,2	
Vidro			
vidro comum	2500	1	0,84

Fonte: ABNT NBR 15520: Desempenho térmico de edificações – Parte 2.

ANEXO 3

Padrões de ocupação diários dos ambientes de permanência prolongada

Horário	Ocupação		
	Dormitório %	Sala %	Uso misto %
00:00-00:59	100	0	100
01:00-01:59	100	0	100
02:00-02:59	100	0	100
03:00-03:59	100	0	100
04:00-04:59	100	0	100
05:00-05:59	100	0	100
06:00-06:59	100	0	100
07:00-07:59	100	0	100
08:00-08:59	0	0	0
09:00-09:59	0	0	0
10:00-10:59	0	0	0
11:00-11:59	0	0	0
12:00-12:59	0	0	0
13:00-13:59	0	0	0
14:00-14:59	0	50	50
15:00-15:59	0	50	50
16:00-16:59	0	50	50
17:00-17:59	0	50	50
18:00-18:59	0	100	100
19:00-19:59	0	100	100
20:00-20:59	0	100	100
21:00-21:59	0	100	100
22:00-22:59	100	0	100
23:00-23:59	100	0	100

NOTA 1 Considerar a quantidade de dois ocupantes (100% da ocupação) por dormitório existente na edificação, excluindo-se as dependências de empregados.

NOTA 2 O valor total (100%) de ocupantes da sala é determinado em função do número de dormitórios. Para cada dormitório, considerar dois ocupantes na sala, respeitando o limite máximo de quatro ocupantes. Na ocorrência de maior número de ocupantes, estes são desconsiderados no período de ocupação da sala, respeitando-se o limite de quatro ocupantes.

NOTA 3 Na condição de uso misto, o valor de ocupação igual a 100% é equivalente a dois ocupantes no APP.

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021)

ANEXO 4

Taxa metabólica e fração radiante para os usuários

Ambiente	Período de uso	Atividade realizada	Calor produzido por área de superfície corporal W/m²	Calor produzido por uma pessoa com 1,80 m² de área de superfície corporal W	Fração radiante
Dormitório	00:00-07:59 e 22:00-23:59	Dormindo ou descansando	45	81	0,30
Sala	14:00-21:59	Sentado ou assistindo TV	60	108	0,30
Uso misto	00:00-07:59 e 22:00-23:59	Dormindo ou descansando	45	81	0,30
	14:00-21:59	Sentado ou assistindo TV	60	108	0,30

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021)

ANEXO 5

Padrões de uso do sistema de iluminação artificial dos APP

Horário	Ocupação		
	Dormitório %	Sala %	Uso misto %
00:00-00:59	0	0	0
01:00-01:59	0	0	0
02:00-02:59	0	0	0
03:00-03:59	0	0	0
04:00-04:59	0	0	0
05:00-05:59	0	0	0
06:00-06:59	100	0	100
07:00-07:59	100	0	100
08:00-08:59	0	0	0
09:00-09:59	0	0	0
10:00-10:59	0	0	0
11:00-11:59	0	0	0
12:00-12:59	0	0	0
13:00-13:59	0	0	0
14:00-14:59	0	0	0
15:00-15:59	0	0	0
16:00-16:59	0	100	100
17:00-17:59	0	100	100
18:00-18:59	0	100	100
19:00-19:59	0	100	100
20:00-20:59	0	100	100
21:00-21:59	0	100	100
22:00-22:59	100	0	100
23:00-23:59	100	0	100

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021)