



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DESEMPENHO TÉRMICO DAS RESIDÊNCIAS UNIVERSITÁRIAS DA
UFCG DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
AGROALIMENTAR (CCTA), CAMPUS POMBAL-PB**

IALY DINIZ DANTAS

**Pombal – PB
2023**

IALY DINIZ DANTAS

DESEMPENHO TÉRMICO DAS RESIDÊNCIAS UNIVERSITÁRIAS DA
UFCG DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
AGROALIMENTAR (CCTA), CAMPUS POMBAL-PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, campus Pombal, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientadora: Prof.^a Ma. Ana Aparecida Almeida de Souza.

Pombal – PB

2023

D192d Dantas, Ialy Diniz.

Desempenho térmico das residências universitárias da UFCG do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), Campus Pombal - PB / Ialy Diniz Dantas. – Pombal, 2023.

76 f. il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2023.

“Orientação: Profa. Dra. Ana Aparecida Almeida de Souza”.

Referências.

1. Desempenho térmico. 2. NBR 15575. 3. Simulação computacional. 4. Edificações. I. Souza, Ana Aparecida Almeida de. II. Título.

CDU 697.97 (043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

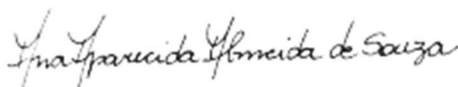
PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

IALY DINIZ DANTAS

**DESEMPENHO TÉRMICO DAS RESIDÊNCIAS UNIVERSITÁRIAS DA UFCG DO
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR (CCTA), CAMPUS
POMBAL-PB.**

Trabalho de Conclusão de Curso do discente (_IALY DINIZ DANTAS_) **APROVADO** em 09 de fevereiro de 2023 pela comissão examinadora composta pelos membros abaixo relacionados como requisito para obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL pela Universidade Federal de Campina Grande.

Registre-se e publique-se.



Prof.ª Ma. Ana Aparecida Almeida de
Souza
(Orientadora – UFCG)

Prof.ª. Dr.ª. Virgínia de Fátima Bezerra
Nogueira
(Membro Interno – UFCG)

Eng. Kaelly de Freitas Silva
(Membro Externo – Engenheira Civil)

*Aos meus pais, Deusilene e Ivanildo, e à
minha irmã, Iandra. Sem o apoio deles
seria impossível essa conquista.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela saúde, proteção, sabedoria e pela renovação de forças concebidas.

Aos meus pais, Deusilene e Ivanildo, por serem meus exemplos de garra e esperança. Por sempre acreditarem em mim, até quando eu mesma não acreditava. Agradeço pelo amor e carinho que nunca faltou. Jamais serei suficientemente grata por tudo que fizeram e fazem por mim. Vocês são o combustível para minha melhor versão.

À minha irmã, Iandra, pelo companheirismo, carinho e por sempre estar ao meu lado e acreditar nos meus sonhos.

À minha turma, Engenharia Civil 2017.1, por todos os momentos de alegria e aprendizado. Em especial aos meus amigos, Adrielly Azevedo, Camila Fragoso, Gabrielly Silva, Jaciara Oliveira, José Valderisso e Virginia Brito. Obrigada por tornarem essa jornada mais fácil. Vocês ficarão para sempre em meu coração.

À toda comunidade acadêmica CCTA, pelo acolhimento, e a todos os professores e técnicos pelo incentivo e por contribuírem com meu aprendizado.

À minha orientadora, Ana Aparecida, por sua paciência, sabedoria e amor por sua profissão. Agradeço por acreditar em mim e por ter me ajudado tanto com suas opiniões e sugestões assertivas, contribuindo imensamente para construção deste trabalho.

Aos membros da banca, Virgínia Nogueira e Kaelly Freitas, pelo interesse e disponibilidade em participar da banca de defesa e pelas considerações assertivas acerca deste trabalho.

À Bianca Gass, analista de projetos do itt Performance (Institutos Tecnológicos), por sua atenção desde o primeiro contato, por sua disponibilidade em ajudar e pelo grande conhecimento repassado acerca do desempenho térmico das edificações e do software EnergyPlus. Sua contribuição foi essencial para esse trabalho.

Enfim, a todos que contribuíram com este momento de alguma forma, meu mais profundo agradecimento.

Muito Obrigada!

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

- Santa Tereza de Calcutá.

RESUMO

A interação entre uma edificação e o ambiente térmico que a circunda define o desempenho térmico de uma edificação. Atualmente, muito se tem discutido sobre a importância de avaliar o comportamento térmico das edificações, já que a adequação de um projeto a realidade climática onde este será implantado, ameniza o surgimento do desconforto térmico por seus usuários. Em ambientes de aprendizagem, por exemplo, o desconforto térmico pode interferir diretamente na produtividade e no desempenho dos alunos. Com isso, por serem destinadas à moradia de estudantes, tornou-se significativo avaliar o desempenho térmico das Residências Universitárias do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Pombal-PB. As residências em questão estão localizadas em uma região de clima quente e de baixa umidade e não são refrigeradas artificialmente. Condições não favoráveis de desempenho térmico nas unidades habitacionais podem interferir na aprendizagem dos alunos que ali moram. A avaliação do desempenho das edificações se deu pelo procedimento de simulação computacional proposto pela NBR 15575/2013. Embora uma nova versão dessa norma tenha sido publicada em 2021, a falta de tempo hábil impossibilitou que a realização da avaliação das residências fosse feita com base nela. Com a realização das simulações, obteve-se que o desempenho térmico das Residências Universitárias atende ao nível mínimo. Com o intuito de proporcionar alternativas de melhorias térmicas na edificação, novas simulações com estratégias de ventilação e sombreamento foram realizadas. A simulação que apresentou melhores resultados foi a que houve a combinação do aumento do sombreamento nas janelas dos ambientes de permanência prolongada (APP) com a redução da absorção solar na parede oeste das residências, em que o desempenho térmico deixou de ser mínimo e atingiu o nível intermediário. A inserção de persianas nas janelas dos APP (estratégia de sombreamento) e a pintura branca na parede oeste (estratégia de redução de absorção solar) foram as alternativas propostas para melhorar o desempenho térmico das Residências Universitárias do CCTA.

Palavras-chave: Desempenho Térmico. NBR 15575. Simulação Computacional.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa do Zoneamento Bioclimático Brasileiro	22
Figura 2 – Procedimentos de avaliação de desempenho térmico (versão 2021)	24
Figura 3 – Interface do <i>SketchUp</i> com barras de ferramentas do <i>plug-in Euclid</i>	29
Figura 4 – Interface do <i>IDF Editor</i>	30
Figura 5 – <i>Brise-soleil</i> dinamizado a composição de um edifício universitário ...	32
Figura 6 – Várias estratégias de ventilação natural em uma mesma edificação	33
Figura 7 – Fluxograma das etapas da pesquisa	34
Figura 8 – Localização das Residências Universitárias internas do CCTA	36
Figura 9 – Residências Universitárias internas do CCTA	37
Figura 10 – Vista lateral das R. U. internas do CCTA	37
Figura 11 – Vista frontal da R. U. masculina interna do CCTA	38
Figura 12 – Planta baixa do pavimento térreo	39
Figura 13 – Planta baixa do primeiro pavimento	40
Figura 14 – Planta baixa do pavimento de cobertura	41
Figura 15 – Zona Bioclimática do município de Pombal-PB	43
Figura 16 – Zonas térmicas do pavimento térreo	44
Figura 17 – Zonas térmicas do primeiro pavimento	44
Figura 18 – Zonas térmicas do pavimento de cobertura	45
Figura 19 – Modelo tridimensional da residência	46
Figura 20 – Vista frontal da modelagem da residência	46
Figura 21 – Vista posterior da modelagem da residência	46
Figura 22 – Zona Bioclimática do município de Patos-PB	50
Figura 23 – Temperatura interna do Dormitório 1	56
Figura 24 – Temperatura interna do Dormitório 2	56
Figura 25 – Temperatura interna do Dormitório 3	57
Figura 26 – Temperatura interna do Dormitório 4	58
Figura 27 – Temperatura interna do Dormitório 5	58
Figura 28 – Temperatura interna do Dormitório 6	59

Figura 29 – Temperatura interna do Dormitório 7	60
Figura 30 – Temperatura interna do Dormitório 8	60
Figura 31 – Temperatura interna do Dormitório 9	61
Figura 32 – Temperatura interna do Dormitório 10	62
Figura 33 – Temperatura interna do Dormitório 11	62
Figura 34 – Temperatura interna do Dormitório 12	63
Figura 35 – Temperatura interna do Dormitório 13	64
Figura 36 – Temperatura interna do Dormitório 14	64
Figura 37 – Temperatura interna da Sala de Estudo	65
Figura 38 – Resumo das temperaturas internas máximas dos APP.....	66
Figura 39 – Resumo das temperaturas internas máximas dos APP (ventilação)	67
Figura 40 – Resumo das temperaturas internas máximas dos APP (sombreamento)	68
Figura 41 – Resumo das temperaturas internas máximas dos APP (ventilação e sombreamento)	69
Figura 42 – Resumo das temperaturas internas máximas dos APP (sombreamento e absortância)	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades térmicas dos materiais construtivos	47
Tabela 2 – Absortância solar e emissividade dos materiais construtivos	48
Tabela 3 – Propriedades térmicas do bloco cerâmico	48
Tabela 4 – Composição dos elementos construtivos	49
Tabela 5 – Temperatura média mensal do solo na cidade de Patos-PB	53
Tabela 6 – Temperatura externa do dia típico de projeto de verão	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Definições de parâmetros	25
Quadro 2 – Comparação entre a NBR15575 (2013) e a NBR 15575 (2021)	27
Quadro 3 – Características térmicas dos materiais	30
Quadro 4 – Esquadrias de cada Residência Universitária interna	42
Quadro 5 – Critério de avaliação de desempenho térmico para as condições de verão	51
Quadro 6 – Critério de avaliação de desempenho térmico para as condições de inverno	51
Quadro 7 – Critério de avaliação para as condições de verão na zona 7	55

LISTA DE SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- APP – Ambiente de Permanência Prolongada;
- APT – Ambiente de Permanência Transitória;
- ASHARE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*;
- BLAST – *Building Loads Analysis and System Thermodynamics*;
- CCTA – Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar;
- DOE – *Department of Energy*;
- I – Intermediário;
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia;
- ISO – *International Organization for Standardization*;
- LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações;
- M – Mínimo;
- NBR – Norma Técnica Brasileira;
- PB – Paraíba;
- S – Superior;
- UFCG – Universidade Federal de Campina Grande;
- UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina;
- UH – Unidade Habitacional;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Justificativa	17
1.2 Objetivos	18
1.2.1 Objetivo Geral	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 Escopo do Trabalho	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 Conforto Térmico versus Desempenho Térmico das Edificações	20
2.2 Normas de Desempenho Térmico das Edificações	21
2.2.1 NBR 15220	21
2.2.2 NBR 15575	23
2.2.2.1 Procedimento Simplificado	24
2.2.2.2 Procedimento de Simulação Computacional	25
2.2.2.2.1 Simulação computacional pela NBR 15575 (2013)	27
2.3 As ferramentas de simulação computacional	28
2.3.1 Simulação computacional com o EnergyPlus	28
2.4 Propostas para contribuir com o desempenho térmico das edificações	31
3. METODOLOGIA	34
3.1 Delineamento da pesquisa	34
4. ANÁLISE DA EDIFICAÇÃO	36
4.1 Objeto de estudo	36
4.1.1 Caracterização do sistema construtivo	42
4.2 Zona bioclimática do município de Pombal-PB	43
4.3 Simulação computacional	43
4.3.1 Definição das zonas térmicas	44
4.3.2 Modelagem das Residências Universitárias	45
4.3.3 Propriedades térmicas dos materiais construtivos	47
4.3.4 Arquivo climático	49
4.3.5 Critérios de avaliação	50
4.3.6 Parâmetros utilizados na simulação computacional	52

5. RESULTADOS E DISCUSÕES	54
5.1 Primeira simulação computacional	54
5.2 Simulação computacional com mudanças na ventilação	67
5.3 Simulação computacional com mudanças no sombreamento	68
5.4 Simulação computacional com mudanças na ventilação e no sombreamento	69
5.5 Proposta de melhorias térmicas	70
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS	74

1. INTRODUÇÃO

Na antiguidade, o homem deixou de ser nômade e passou a buscar locais para se proteger de animais selvagens e das intempéries. Um grande acontecimento desta época que permitiu que o homem morasse em um lugar fixo foi a descoberta do fogo, fator este que permitiu o aquecimento do ambiente em relação ao frio, já que era um período marcado por baixas temperaturas. É notório, então, que a busca por conforto térmico acontece desde os tempos remotos.

No Brasil, a primeira norma a tratar do tema de desempenho térmico das edificações foi a Norma Brasileira (NBR) 15220/2005, trazendo recomendações construtivas através de um zoneamento bioclimático do país. Em 2013, após aperfeiçoamentos da sua versão original, a NBR 15575 foi publicada estabelecendo requisitos mínimos de desempenho e trazendo procedimentos para avaliação do desempenho térmico das edificações habitacionais.

A NBR 15220-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2005, p. 6) define conforto térmico como sendo: “Satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente.” A ideia de conforto está relacionada à sensação de satisfação ou não do indivíduo no ambiente em que ele está inserido e isso depende das percepções de cada pessoa. Ou seja, cada indivíduo tem a experiência de conforto térmico em um mesmo espaço de forma distinta. Entretanto, mesmo com a subjetividade do conforto térmico, os arquitetos e engenheiros devem se preocupar em projetar edificações com um bom desempenho térmico proporcionando conforto para grande parte dos ocupantes.

Um dos métodos propostos pela NBR 15575 (ABNT, 2013) para determinar o desempenho térmico das edificações é a simulação computacional, que a partir dos resultados obtidos se torna possível propor soluções estratégicas com o objetivo de prover conforto térmico e aumentar a eficiência energética da habitação. A simulação computacional é realizada utilizando fatores como a geometria, os materiais construtivos e a localidade da edificação (BALVEDI *et al.*, 2018; MENDES, 2019).

Além de proporcionar bem-estar e reduzir o consumo energético, um ambiente termicamente confortável proporciona maior produtividade. Kowaltowski (2011) afirma que a concepção arquitetônica de um ambiente físico escolar deve se atentar tanto

aos conceitos educacionais quanto ao conforto do ambiente, já que são diretamente ligados ao desempenho na aprendizagem.

As Residências Universitárias da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), centro acadêmico localizado na cidade de Pombal-PB, são habitações de interesse social em que o conforto térmico pode interferir diretamente na qualidade de aprendizagem dos alunos. Dessa forma, a presente pesquisa consiste na análise com diagnóstico do desempenho térmico destas edificações e na proposta de alternativas para melhoria térmica do objeto em estudo.

1.1 Justificativa

A insatisfação do usuário com o desempenho térmico das edificações de ensino superior no Brasil causa desconforto e afeta a concentração, a produtividade e o desempenho dos alunos. Em climas quentes, é muito comum o condicionamento mecânico para o resfriamento dos ambientes internos, aumentando significativamente o consumo energético da edificação (ABREU-HARBICH; CHAVES; BRANDSTETTER, 2018).

Com isso, tornou-se significativo o estudo do desempenho térmico das residências da UFCG/CCTA, edificações que são destinados à moradia de estudantes com vulnerabilidade socioeconômica atendidos pelo Programa de Residência Universitária da UFCG. Atualmente, a Residência Feminina interna e a Residência Masculina interna do CCTA acolhem 29 e 37 alunos, respectivamente. Essas habitações estudantis, não são refrigeradas artificialmente e podem interferir diretamente na aprendizagem e na produtividade dos jovens estudantes que ali moram.

Assim, a presente pesquisa possui relevância social, já que visa contribuir com soluções propositivas para alcançar níveis aceitáveis de conforto térmico, analisando a realidade climática do semiárido nordestino brasileiro nas residências de um centro acadêmico. Além disso, a pesquisa visa contribuir para uma possível execução de melhorias nas moradias do campus, sendo essa pesquisa destinada a própria instituição, UFCG/CCTA, e aos alunos que ali residem. A pesquisa é destinada

também aos engenheiros e arquitetos que se preocupam em buscar soluções projetuais para alcançar o desempenho térmico das edificações.

1.2 Objetivos

Esta pesquisa apresenta como objetivos:

1.2.1 *Objetivo Geral*

O objetivo geral do presente estudo é propor alternativas para auxiliar na melhoria do desempenho térmico das edificações das residências universitárias, feminina e masculina, do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Pombal – PB.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

- a) Analisar o sistema construtivo das Residências Universitárias do CCTA;
- b) Avaliar o desempenho térmico das residências em estudo com base no procedimento normativo da NBR 15575/2013;
- c) Elaborar uma proposta que melhore o desempenho térmico da edificação a partir do diagnóstico levantado.

1.3 Escopo do Trabalho

O escopo do presente trabalho está estruturado da seguinte forma:

- **Capítulo 1:** Apresentação de um contexto mais amplo do conforto térmico e do desempenho térmico das edificações, delimitação do tema, justificativa, objetivos e o escopo do presente trabalho.

- **Capítulo 2:** Apresentação do embasamento teórico da presente pesquisa: definição de conforto térmico, definição de desempenho térmico das edificações, normas brasileiras de desempenho, *softwares* de simulação computacional e propostas formuladas para contribuir com o desempenho térmico das edificações.

- **Capítulo 3:** Apresentação dos materiais e métodos utilizados no estudo e apresentação das etapas da pesquisa.

- **Capítulo 4:** Apresentação do objeto de estudo, definição da zona bioclimática, modelagem da edificação e o passo a passo para realização das simulações computacionais.

- **Capítulo 5:** Apresentação dos resultados das simulações computacionais, discussões da pesquisa e apresentação da proposta de melhoria do desempenho térmico da edificação em estudo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão apresentados pressupostos teóricos necessários para compreender a pesquisa. Definição de conforto térmico e de desempenho térmico, normas brasileiras de desempenho, simulação computacional e soluções para contribuir com o desempenho térmico das edificações são alguns dos embasamentos teóricos relevantes para o desenvolvimento do presente trabalho.

2.1 Conforto Térmico *versus* Desempenho Térmico das Edificações

O conceito de conforto térmico está relacionado ao grau de satisfação térmica do indivíduo com o ambiente em que ele está inserido. Ou seja, o conforto térmico é uma sensação em que o ser humano não sente frio ou calor naquele ambiente. O que é diferente de dizer que o indivíduo se encontra em neutralidade térmica, que é a troca de calor na mesma proporção entre o organismo e o ambiente, fazendo com que o corpo tenha uma temperatura constante. Assim, a neutralidade térmica é apenas uma das condicionantes para se obter o conforto térmico (LAMBERTS; DUARTE, 2016).

Como o conforto está ligado a uma sensação humana, ele é subjetivo. De acordo com a NBR 16401-2 (2008), as variáveis do conforto térmico estão divididas em fatores ambientais e em fatores pessoais. As variáveis pessoais são: a resistência térmica (causada pela troca de calor do corpo humano com o ambiente e oferecida pelo tipo de roupa que o usuário utiliza) e a taxa de metabolismo (determinada pelo nível de atividade física de cada pessoa). Os fatores ambientais são: temperatura operativa, velocidade do ar e umidade relativa do ar. Então, devido as variações ambientais e as variações físicas, fisiológicas e psicológicas de cada um, é improvável que todos os indivíduos de um ambiente se sintam termicamente confortáveis.

Os estudos relacionados ao conforto térmico se intensificaram nos últimos anos, isso, porque a importância de ter um ambiente termicamente confortável se deve principalmente a 3 fatores: diminuição do consumo energético da edificação, bem-estar do usuário e aumento da produtividade humana (LAMBERTS; DUARTE, 2016). Com isso, as exigências com edificações que prezam pelo desempenho térmico também aumentaram (SANTOS *et al.*, 2017). Assim, é significativo que as condições térmicas sejam consideradas nos projetos e *retrofits* (uma espécie de reforma que

busca a modernização da edificação) para obter edificações mais confortáveis e eficientes.

Entretanto, construir uma edificação com um bom desempenho térmico não significa que os ocupantes irão ter conforto térmico, já que, como dito anteriormente, este é subjetivo e depende da individualidade de cada um. Segundo Siqueira *et al.* (2005), o desempenho térmico de uma edificação pode ser definido como a interação térmica entre o ambiente construído e o ambiente externo. Assim, projetar uma edificação pensando no clima local resultará em uma edificação com maiores índices de prover conforto térmico para seus ocupantes e com maior conservação de energia.

Com isso, partindo do princípio de entender a diferença entre conforto térmico e desempenho térmico das edificações, o presente estudo irá avaliar o desempenho térmico das Residências Universitárias do CCTA/UFCG e propor melhorias com o intuito de proporcionar conforto térmico para seus usuários.

2.2 Normas de Desempenho Térmico das Edificações

No Brasil, o desempenho térmico das edificações é regulamentado pela NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho (ABNT, 2021) e pela NBR 15220: Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005), estabelecendo requisitos mínimos para atingir um padrão de qualidade. Existem também normas apropriadas para averiguar o conforto térmico, como a norma americana ASHRAE 55 (AMERICAN..., 2020). Esta norma utiliza fatores ambientais e fatores pessoais para proporcionar um ambiente termicamente confortável para a maioria dos usuários (SANTOS; PORTO; SILVA, 2020). Como o foco principal deste estudo é a análise do desempenho térmico das edificações, a seguir serão apresentadas as normas brasileiras que regulamentam o desempenho térmico.

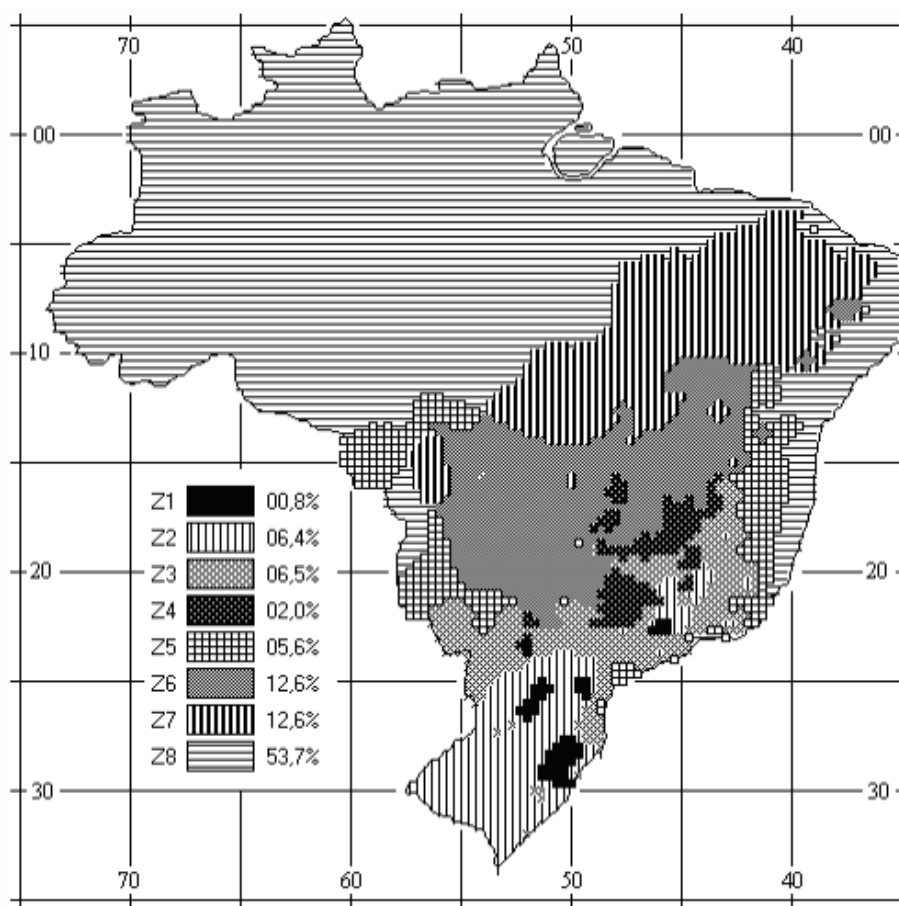
2.2.1 NBR 15220

A NBR 15220: Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005) foi a primeira norma brasileira a tratar do tema de desempenho térmico no Brasil. A grande extensão territorial, a latitude, o relevo e as massas de ar são alguns dos fatores que influenciam a variedade de tipos de climas existentes no país. Isso faz com que uma mesma região

geográfica tenha diversos climas, fator este, que dificulta a avaliação de desempenho térmico nas edificações. Devido à grande variedade climática e para melhor analisar o desempenho térmico das edificações, foi feita uma padronização do clima brasileiro por meio de um zoneamento bioclimático (SIQUEIRA *et al.*, 2005).

Dividida em cinco partes, a parte três da NBR 15220 estabelece o zoneamento bioclimático e traz estratégias de condicionamento térmico passivo e diretrizes construtivas para auxiliar em um melhor desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social de até três pavimentos. O zoneamento bioclimático brasileiro, divide o país em oito diferentes zonas, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Mapa do Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: ABNT (2005)

A porcentagem presente na Figura 1 se refere ao tamanho da área da zona em relação ao tamanho de toda área do território brasileiro. É possível observar na Figura 1 também, que a identificação da zona em alguns municípios pelo Mapa de Zoneamento Bioclimático Brasileiro fica de difícil entendimento. Com isso, para

facilitar a identificação da zona bioclimática do município de Pombal-PB foi utilizado um *software*, detalhado no tópico 4.2 deste trabalho. A importância de definir a zona bioclimática no presente trabalho é avaliar o desempenho térmico da edificação em estudo de acordo com as características climáticas da zona definida.

2.2.2 NBR 15575

A NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho (ABNT, 2021) apresenta uma lista com 13 requisitos do usuário relativos à segurança, habitabilidade e sustentabilidade para analisar o desempenho de uma edificação. Alguns desses requisitos são:

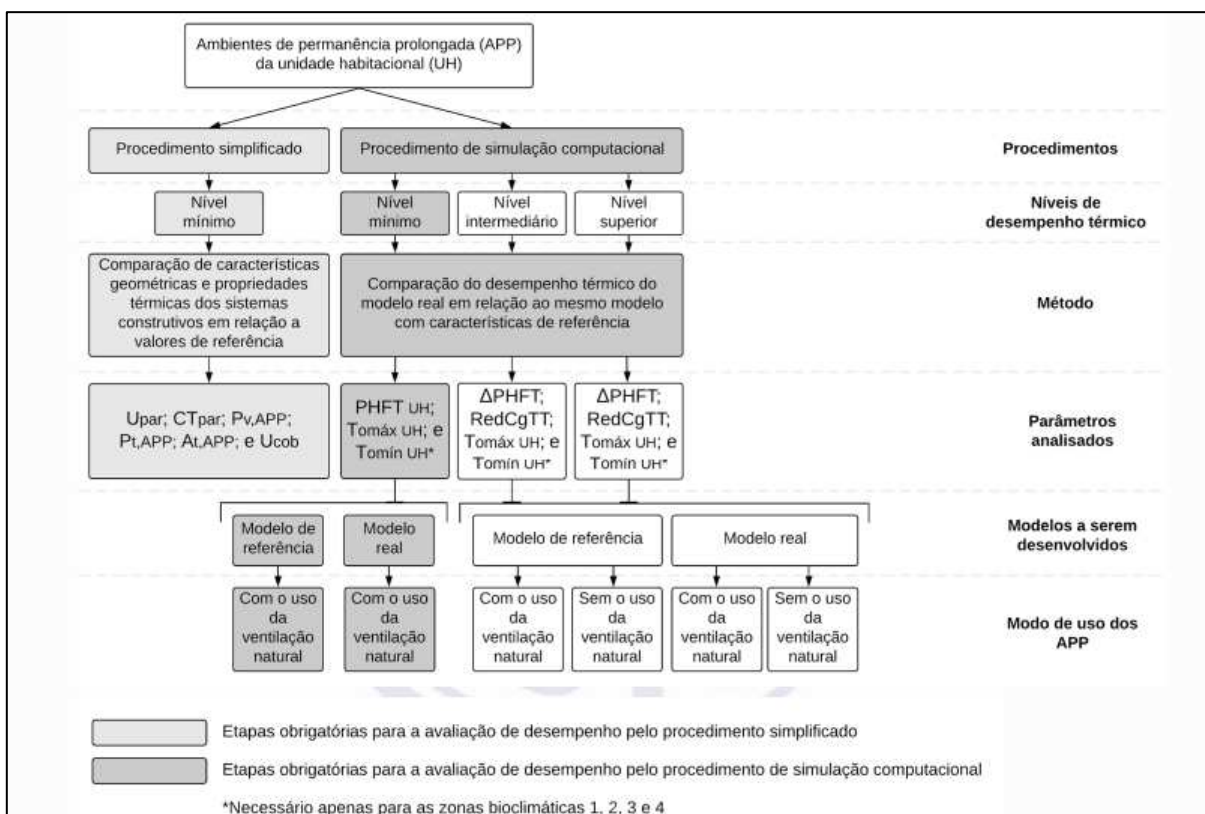
- a) segurança estrutural;
- b) segurança contra fogo;
- c) durabilidade;
- d) impacto ambiental;
- e) estanqueidade;
- f) desempenho acústico;
- g) desempenho lumínico;
- h) desempenho térmico.

A versão antiga desta norma, publicada em 2013, foi atualizada em 2021, em que foi feita revisão principalmente na parte de desempenho térmico. De acordo com a norma, o desempenho térmico das edificações depende das paredes e coberturas que a compõe, das áreas envidraçadas, das áreas de ventilação, das cargas térmicas de pessoas, equipamentos e iluminação, da maneira como as aberturas são operadas e do clima local. A NBR 15575 (ABNT, 2021) permite a análise do desempenho térmico tanto para habitações sem condicionamento artificial como para análise da carga térmica de habitações com condicionamento artificial. Essa avaliação é feita para os ambientes de permanência prolongada da edificação (APP), e quando são analisadas habitações multifamiliares, os pavimentos térreo, tipo (s) e cobertura devem ser considerados com todas as unidades habitacionais presentes.

Existem três níveis de desempenho térmico, o mínimo (M), o intermediário (I), e o superior (S). O atendimento ao nível mínimo é obrigatório, já o atendimento ao intermediário e ao superior são optativos. Para análise do desempenho térmico da

unidade habitacional (UH) e delimitação do nível deste, a norma recomenda dois procedimentos: o procedimento simplificado e o procedimento de simulação computacional. A Figura 2 mostra um resumo desses dois procedimentos, que serão tratados mais detalhadamente nos tópicos seguintes.

Figura 2 – Procedimentos de avaliação de desempenho térmico (versão 2021)



Fonte: ABNT (2021, p. 17)

2.2.2.1 Procedimento Simplificado

O procedimento simplificado averigua somente o nível mínimo de desempenho térmico. Para isso, são apresentados critérios para os sistemas de vedações verticais externas (SVVE) e coberturas. Nesse procedimento existe uma comparação de parâmetros referentes à geometria e ao sistema construtivo da UH com valores de referência. Os SVVE são avaliados quanto aos valores de transmitância térmica, capacidade térmica, percentual de abertura para ventilação e área de superfície dos elementos transparentes (ou percentual de elementos transparentes). Já as coberturas são avaliadas somente quanto a sua transmitância térmica (ABNT, 2021).

A diferença entre a versão de 2013 e a versão de 2021 no procedimento simplificado, é que na versão antiga da norma não era considerado o percentual de elementos transparentes. Hoje existe uma tolerância máxima de elementos transparentes na edificação para que esta possa ser avaliada pelo método simplificado. Para melhor entendimento, o Quadro 1 traz algumas definições descritas pela norma.

Quadro 1 – Definições de parâmetros

Parâmetro	Símbolo	Definição
Transmitância térmica	U	Transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo
Capacidade térmica	CT	Quantidade de calor necessária para variar, em uma unidade, a temperatura de um sistema
Percentual de abertura para ventilação	Pv, APP	Razão entre a área efetiva de abertura para ventilação do APP e a sua área de piso
Área de superfície dos elementos transparentes	At, APP	Soma das áreas de superfície dos elementos transparentes do APP
Percentual de elementos transparentes	Pt, APP	Razão entre a área de superfície de elementos transparentes do APP e a sua área de piso

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (2021)

O presente estudo não utilizará o procedimento simplificado para analisar o desempenho térmico das Residências Universitárias do CCTA/UFCG. Entretanto, se torna interessante entender em uma pesquisa futura como ocorre este procedimento proposto pela norma para análise do desempenho térmico das edificações.

2.2.2.2 Procedimento de Simulação Computacional

O intuito da simulação computacional é proporcionar o entendimento do desempenho térmico da edificação na fase de projeto e, com isso, facilitar a proposição de melhorias ainda nessa etapa. Entretanto, o uso da simulação em edificações já executadas serve como uma classificação do desempenho e pode contribuir para sugestão de estratégias para melhorar o desempenho térmico destas (MENDES, 2019).

O procedimento da simulação computacional proposto pela NBR 15575 (ABNT, 2021) avalia a edificação quanto ao atendimento aos níveis mínimo (M), intermediário (I) e superior (S) de desempenho. Esse procedimento compara o desempenho térmico anual da envoltória (os planos da edificação que separam o ambiente interno do ambiente externo) real da edificação com a mesma envoltória, porém, com características de referência estabelecidos pela norma. Para isso, dois modelos são produzidos: o modelo real e o modelo de referência.

O modelo real consiste na representação da edificação com “suas características volumétricas, percentuais de elementos transparentes e de aberturas para ventilação, com suas propriedades térmicas dos sistemas construtivos e presença de elementos de sombreamento externos fixos na fachada” (ABNT, 2021, p. 29). Ou seja, o modelo real mantém as características reais da edificação. O modelo de referência conserva a mesma geometria do modelo real, porém, adota valores de referência descritos na norma para percentuais de elementos transparentes e de aberturas para ventilação e para as propriedades térmicas dos materiais.

Os modelos podem ser simulados tanto com uso da ventilação natural como sem o uso para os APP. Para atender o nível mínimo, o modelo real e o de referência devem ser simulados somente com o uso da ventilação natural. Já para atender os níveis intermediário e superior, a simulação dos modelos deve acontecer nas duas condições. Outro ponto que deve ser considerado na simulação é o entorno da edificação. Ele deve ser representado igualmente nos dois modelos e deve retratar a sombra e reflexão dos elementos que entornam a UH (ABNT, 2021). Além disso, na configuração dos modelos para simulação serão configurados:

- a) os materiais construtivos do modelo real e modelo de referência;
- b) agendas de ventilação natural;
- c) agendas de ocupação;
- d) agendas de iluminação;
- e) agendas de funcionamento dos equipamentos.

Como dito anteriormente, para que o desempenho térmico da edificação seja avaliado, é preciso comparar os resultados da simulação do modelo real com o modelo de referência. Para apresentar desempenho térmico, a envoltória da habitação deve atender todos os critérios estabelecidos pela norma quando comparados com o desempenho térmico da envoltória de referência. Esses critérios são determinados

com base em intervalos de temperaturas externas, definidos através do arquivo climático utilizado. Dentre esses critérios estão o percentual de horas dentro da faixa operativa (Phft), temperatura operativa máxima (T_{max}), temperatura operativa mínima (T_{min}) e redução da carga térmica total (RedCgTT).

Visto a complexidade do atual procedimento de simulação computacional da versão revisada da norma, como produção e simulação de dois modelos da edificação, representação do entorno da construção, configuração mais complexa dos modelos e avaliação do desempenho para todas as horas do ano, o presente trabalho irá utilizar o procedimento de simulação da versão de 2013 da NBR 15575.

2.2.2.2.1 Simulação computacional pela NBR 15575 (2013)

O método de simulação computacional foi o que mais passou por mudanças depois da revisão da norma. Tanto a metodologia quanto os critérios a serem atendidos nesse procedimento foram alterados após a revisão. Na versão de 2013, apenas um modelo é produzido para simulação, com a geometria e as características do projeto real. Na sua configuração somente os materiais e a ventilação natural são configurados.

Além disso, a avaliação do desempenho se dá comparando a temperatura interna de cada APP com a temperatura externa somente no dia típico de verão e no dia típico de inverno. O que difere da revisão de 2021, em que o período de avaliação do desempenho são todos os dias do ano. Quanto aos critérios da versão de 2013 da norma, apenas a temperatura máxima (T_{max}) e a temperatura mínima (T_{min}) são avaliadas. O Quadro 2 apresenta um resumo da comparação entre as duas versões.

Quadro 2 – Comparação entre a NBR 15575 (2013) e a NBR 15575 (2021)

	2013	2021
Período de simulação	Dia típico de verão e de inverno	Todos os dias do ano
Cargas internas	Sem	Com
Modelo de referência	Sem	Com
Crítérios	T _{min} e T _{max}	Phft, T _{min} , T _{max} e RedCgTT

Fonte: Autora (2023)

Embora a nova versão da norma tenha entrado em vigor desde o ano de 2021, a sua complexidade, falta de tempo hábil e a existência de poucos trabalhos científicos para embasamento teórico utilizando a norma revisada fizeram com que a análise do desempenho térmico das Residências Universitárias fosse realizada neste trabalho pelo procedimento da NBR 15575 de 2013.

2.3 As ferramentas de simulação computacional

Devido ao aumento da procura por edificações eficientes e sustentáveis, isto é, edificações que se preocupam com impacto ambiental e são energeticamente mais eficientes, os softwares de simulação termoenergética passaram a fazer parte da rotina dos projetistas (SANTOS *et al.*, 2017). Essas ferramentas permitem que o projetista analise as diversas variáveis presentes na edificação em pouco tempo e proponha soluções eficientes para a construção. De acordo com a NBR 15575-1, o programa de simulação computacional deve:

Ser capaz de estimar as variações da temperatura operativa, das cargas térmicas de refrigeração e de aquecimento e do uso da ventilação natural na UH, definidos separadamente em 8 760 h ao longo do ano, considerando as variações horárias de ocupação, de potência de iluminação e de equipamentos (ABNT, 2021, p. 20).

Além disso, a norma brasileira ainda traz outras recomendações para o programa, como: estar de acordo com a ASHRAE 140, modelar efeitos de inércia térmica, calcular cargas térmicas latente e sensível, simular os efeitos da ventilação cruzada em ambientes, entre outros. No mercado mundial, existe diversos softwares de simulação termoenergética como: Green Building Studio (GBS), EnergyPlus e Design Builder.

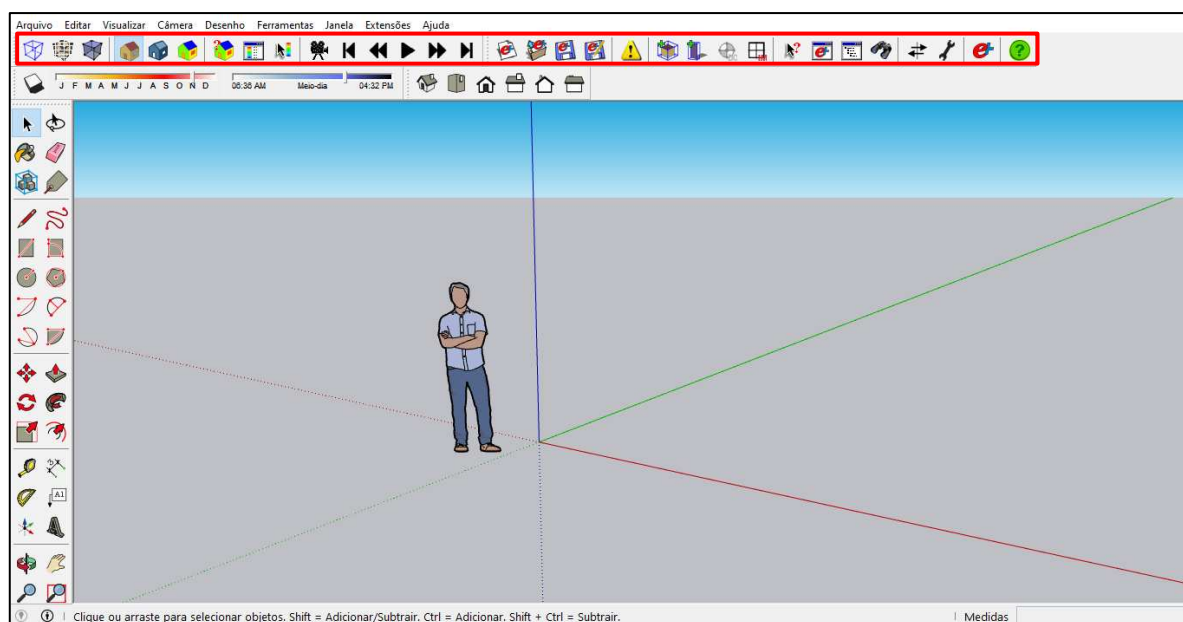
2.3.1 Simulação computacional com o EnergyPlus

A versão de 2013 da NBR 15575 (ABNT, 2013) recomenda o uso do *software EnergyPlus* para realização da simulação termoenergética. O *EnergyPlus* é um programa gratuito de simulação de carga energética utilizado por engenheiros, arquitetos e *designers* para analisar o consumo de energia e o uso da água em edifícios. Foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE)

através da mistura de dois softwares: o BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*), que realiza a comparação de grandes sequências de dados, e o DOE-2, que realiza a simulação termoenergética das edificações. (ENERGYPLUS, 2022).

Como o *EnergyPlus* tem uma interface mais complexa, pode-se utilizar o software *Sketchup* para fazer a modelagem da geometria da edificação e depois exportar utilizando o *plug-in Euclid* (MENDES, 2019). A Figura 3 mostra a interface do *Sketchup* com as barras de ferramentas provenientes do *plug-in Euclid*, utilizadas para modelagem da volumetria da edificação e criação das zonas térmicas.

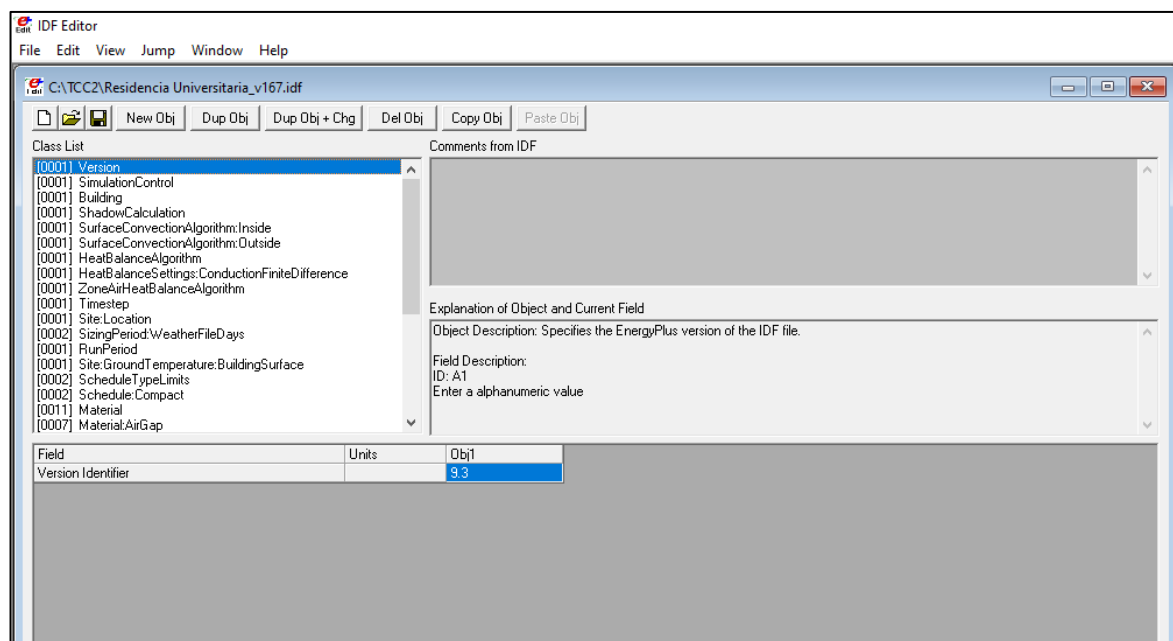
Figura 3 – Interface do *SketchUp* com barras de ferramentas do *plug-in Euclid*



Fonte: SketchUp (2022)

Depois de feita a modelagem, o arquivo exportado precisa ser configurado para que a simulação aconteça. Toda essa configuração acontece no *IDF Editor* do *EnergyPlus*. A Figura 4 mostra a interface do *IDF Editor*.

Figura 4 – Interface do *IDF Editor*



Fonte: Autora (2023)

É nessa interface que a localização geográfica da edificação, os dados climáticos e as propriedades térmicas dos materiais são configuradas. Para melhor entendimento sobre as características térmicas dos materiais, necessárias para realização da simulação, o Quadro 3 traz as definições dessas características descritas pela NBR 15220-1 (ABNT, 2005).

Quadro 3 – Características térmicas dos materiais

Grandeza	Símbolo	Definição
Calor Específico	c	Quociente da capacidade térmica pela massa.
Densidade de massa aparente	ρ	Quociente da massa pelo volume aparente de um corpo
Condutividade Térmica	λ	Propriedade física de um material homogêneo e isótropo, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro
Absortância solar	α	Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície
Emissividade	ϵ	Quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura

Fonte: Adaptado de NBR 15220-1 (2005)

2.4 Propostas para contribuir com o desempenho térmico das edificações

Como já mencionado, muito se tem discutido atualmente sobre a questão do desconforto térmico nas edificações. Nesses estudos, é muito recorrente que edificações vindas de projetos padronizados apresentem desconforto. Bosa (2017) associou o baixo desempenho térmico de habitações financiadas pelo Programa Minha Casa Minha Vida à padronização de projetos arquitetônicos. Para o autor, a falta de individualidade dos projetos pode gerar problemas no desempenho térmico porque não são projetados pensando no clima da região e nem no posicionamento da fachada para a orientação adequada. Nesse estudo, soluções simples como, escolha de cores, materiais, aberturas e sombreamentos adequados, melhoraram o desempenho das habitações em até 51%.

Mendes (2019), por sua vez, analisou o desempenho térmico de Habitações de Interesse Social (HIS) também financiadas pelo programa Minha Casa Minha Vida, localizadas no interior do Ceará. Nesse estudo foi constatado que as edificações não proporcionavam conforto térmico aos seus usuários. Assim, foram verificadas propostas de melhorias de baixo custo, como aumento da ventilação e sombreamento, porém, não eficazes. Também foram verificadas, mudanças no tipo de forro, na cor das telhas, na espessura dos revestimentos internos e utilização de toldos, esses eficazes para prover desempenho térmico das HIS.

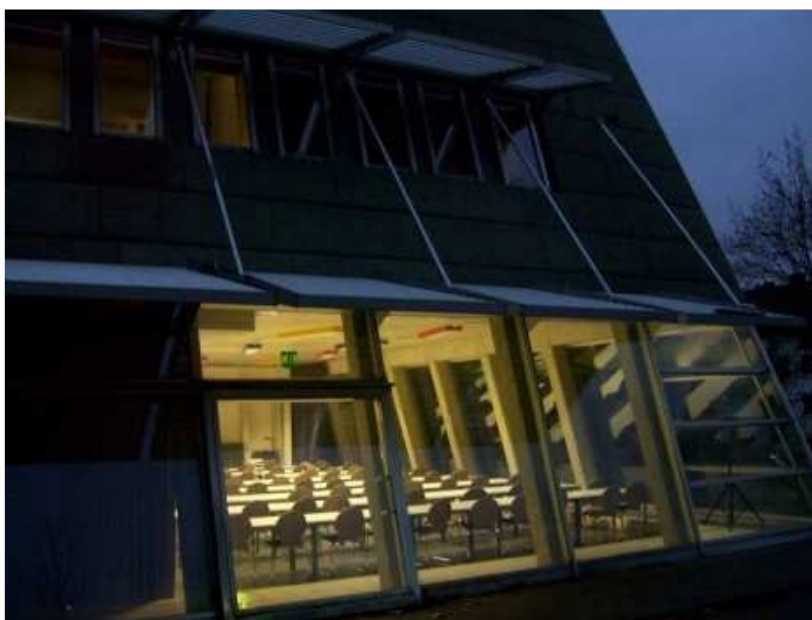
Santos *et al.* (2017) avaliaram o desempenho térmico do Instituto de Química (IQ) da Universidade de Brasília. Com base na orientação da edificação e em entrevistas realizadas com os usuários, foram selecionados os ambientes mais prováveis de proporcionar desconforto. Os resultados obtidos na simulação foram favoráveis, entretanto, aspectos como iluminação, ocupação e equipamentos não tinham sido considerados. Com isso, foi realizada uma nova simulação considerando esses aspectos e os resultados foram alterados. Para propor melhorias, com o intuito de minimizar as temperaturas internas, os autores propuseram a instalação de beirais nas janelas para melhorar o sombreamento dos ambientes, em que a alteração se mostrou eficaz, já que as temperaturas internas reduziram.

Ainda no mesmo estudo, os autores mencionaram que as melhorias devem ser propostas pensando nos custos e na viabilidade da execução. Nesse caso, como era um instituto de ensino, soluções que requeressem um grande período para reforma

poderiam atrapalhar as atividades desenvolvidas na edificação. Como exemplos de soluções para outros os projetos, os autores ainda mencionaram “utilização de vidros de melhor desempenho térmico (com menor fator solar), materiais isolantes nas vedações, redução da absorvância com pinturas brancas, sombreamento interno com persianas móveis” como alternativas de melhorias.

Cunha (2011) realizou um estudo através da simulação computacional sobre a viabilidade de implantação do sistema de proteção solar, *brise-soleil*, na fachada do Hotel Jacques George, localizado em Pelotas no Rio Grande do Sul. A implantação foi estudada devido a necessidade de controlar a radiação solar em alguns ambientes do hotel. Como resultado, foi constatado que a implantação do sistema na fachada oeste aumentaria 692,04 horas de conforto na edificação no período de um ano. Outro resultado também, foi que a implantação da proteção solar nos elementos envidraçados da fachada proporcionava uma diminuição no consumo anual de energia por climatização artificial. A Figura 5 mostra a utilização do *brise-soleil* em uma fachada.

Figura 5 – *Brise-soleil* dinamizando a composição de um edifício universitário



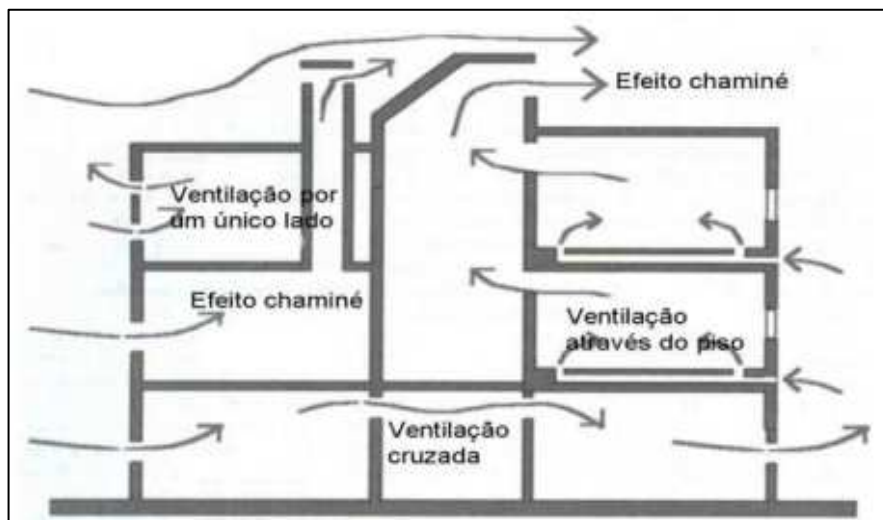
Fonte: Cunha (2011)

Outro tipo de proposta a se pensar para proporcionar desempenho térmico, é a ventilação. A ventilação de um ambiente pode acontecer de forma natural ou de forma artificial, por meio de equipamentos. Definida como sendo a troca de ar do ambiente interno pelo ar externo, a ventilação atua no conforto e é necessária tanto

nos períodos de verão como nos períodos de inverno, devido aos quesitos térmicos e higiênicos. No Brasil, a ventilação natural é a alternativa mais importante, depois do sombreamento, para soluções passivas de desempenho térmico (LAMBERTS, 2016).

A ventilação natural pode acontecer pela diferença de pressão causada pelo vento, como é o caso da ventilação cruzada. Essa ocorre quando no ambiente existe aberturas em faces opostas, fazendo que o vento entre em uma face e saia pela outra. Quando o ambiente possui apenas uma abertura, esse tipo de ventilação se chama ventilação unilateral (ou ventilação por um único lado). A ventilação natural também pode acontecer pela diferença de temperatura, como é o caso do efeito chaminé, que depende da diferença entre as alturas das aberturas. Essa estratégia não é muito utilizada em climas quentes para prover conforto térmico, por depender justamente da diferença de temperatura entre os ambientes internos e externos. A ventilação através do piso é um caso à parte do efeito chaminé, em que o vento entra por aberturas existentes no piso do ambiente e sai por aberturas existentes no teto ou próximas a ele. A Figura 6 demonstra todas essas estratégias de ventilação natural em uma mesma edificação (LAMBERTS, 2016).

Figura 6 – Várias estratégias de ventilação natural em uma mesma edificação



Fonte: Lamberts (*apud* GHIAUS, ROULET, 2005, p. 146)

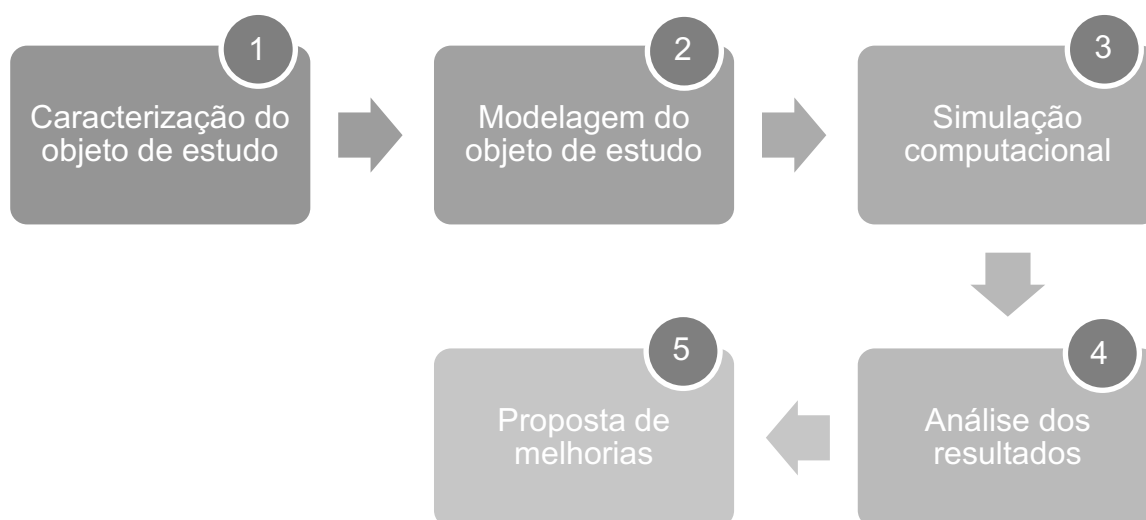
3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os materiais e métodos utilizados no presente trabalho. A metodologia foi fundamentada em pesquisas bibliográficas através de livros, periódicos e outras fontes científicas confiáveis. O estudo contou com visitas *in loco* e com a utilização de *softwares* como AutoCAD, Sketchup e EnergyPlus.

3.1 Delineamento da pesquisa

A realização da pesquisa será dividida em 5 etapas, como apresentado no fluxograma da Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Autora (2023)

A etapa 1 compreendeu a coleta dos projetos das Residências Universitárias do CCTA disponíveis na subprefeitura do campus de Pombal-PB. Nessa etapa também, foram realizadas visitas *in loco* para um levantamento arquitetônico e posterior elaboração do *As Built* (em português significa “como construído”) das Residências Universitárias em estudo.

A etapa 2 compreendeu a modelagem propriamente dita. Primeiramente, a planta baixa foi desenvolvida utilizando o *software* AutoCAD 2019, versão estudante. No *Sketchup Pro* 2022, o arquivo da planta baixa desenvolvido no AutoCAD foi

importado para modelagem da volumetria das residências. Após concluída a modelagem, esta foi exportada para *EnergyPlus*, versão 9.4, por meio do *plug-in Euclid*, versão 9.4.3.

Na etapa 3, foram realizadas as simulações computacionais com base nos procedimentos normativos da NBR 15575 (2013) utilizando o *software EnergyPlus*. Após os resultados das simulações serem analisados, correspondente a etapa 4, na etapa 5 foram apresentadas propostas de modificações nas edificações com o intuito de melhorar o desempenho térmico destas.

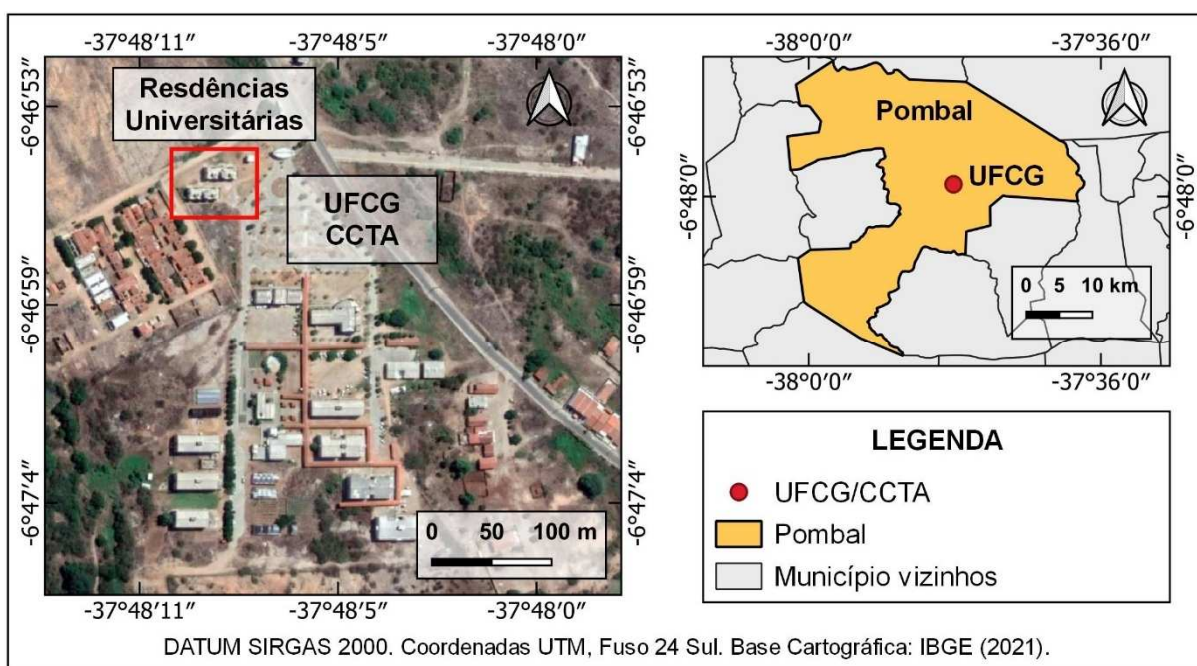
4. ANÁLISE DA EDIFICAÇÃO

Esse capítulo compreende as etapas 1, 2 e 3 da presente pesquisa. Nele serão apresentados o objeto de estudo, a definição da zona bioclimática, a modelagem da edificação e o passo a passo para realização das simulações computacionais.

4.1 Objeto de estudo

O CCTA conta com duas Residências Universitárias internas, uma feminina e uma masculina, e uma residência externa. Esta última é uma casa alugada fora da sede do campus para funcionamento de mais uma residência masculina, com capacidade máxima de 16 alunos. O objeto de estudo utilizado na presente pesquisa foram as Residências Universitárias internas do CCTA da UFCG, Campus Pombal. A Figura 8 mostra a localização destas.

Figura 8 – Localização das Residências Universitárias internas do CCTA



Fonte: Autora (2023)

Com aproximadamente 249 m² de área construída por pavimento, cada residência interna possui capacidade de acolhimento de até 56 alunos. As residências internas possuem infraestrutura iguais, apresentando pavimento térreo, pavimento superior e cobertura. A ambientação interna de cada uma é dividida em 1

sala de estar, 1 sala de estudo, 1 cozinha, 1 despensa, 14 quartos, 14 banheiros e 2 lavanderias. Cada quarto possui seu respectivo banheiro e tem capacidade para até 4 alunos. As residências contêm móveis, utensílios e equipamentos necessários para moradia dos estudantes. As Figuras 9, 10, e 11 apresentam fotos das Residências Universitárias.

Figura 9 – Residências Universitárias internas do CCTA



Fonte: Autora (2023)

Figura 10 – Vista lateral das R. U. internas do CCTA



Fonte: Autora (2023)

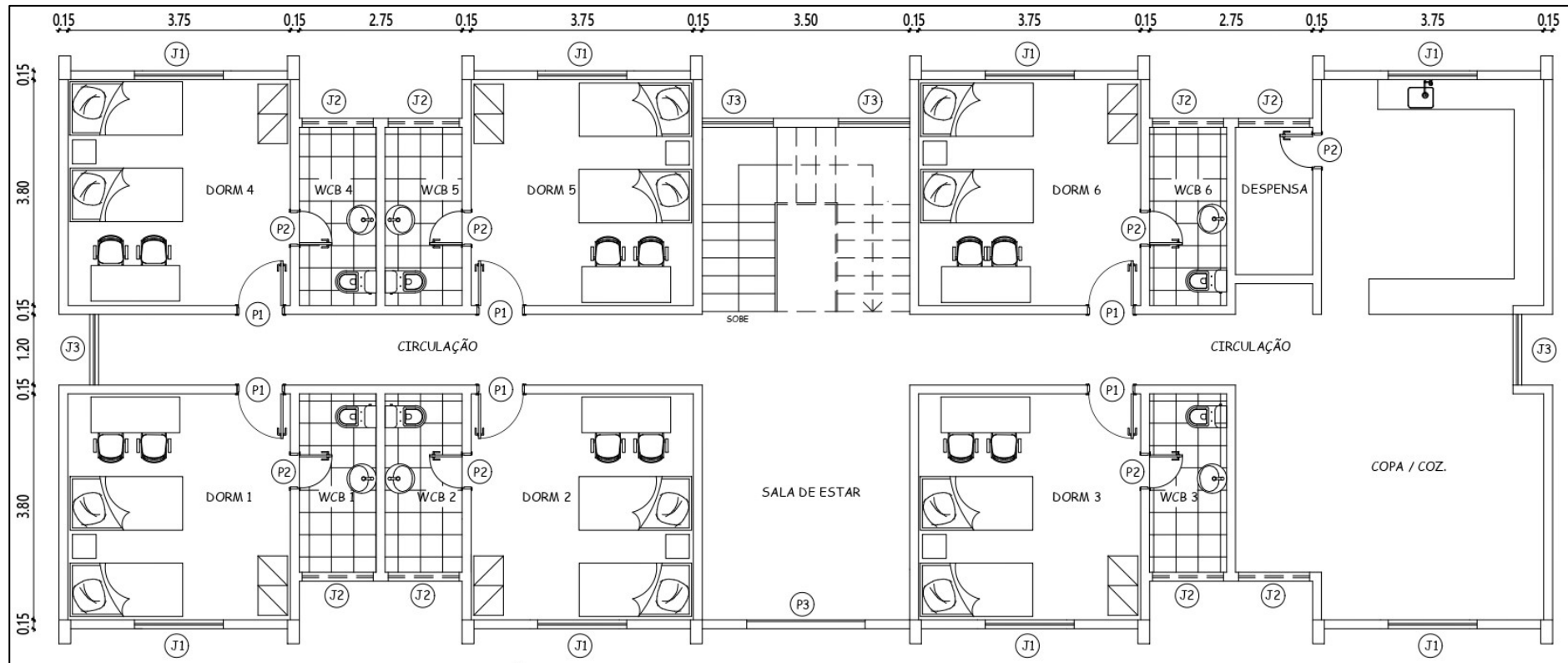
Figura 11 – Vista frontal da R. U. masculina interna do CCTA



Fonte: Autora (2023)

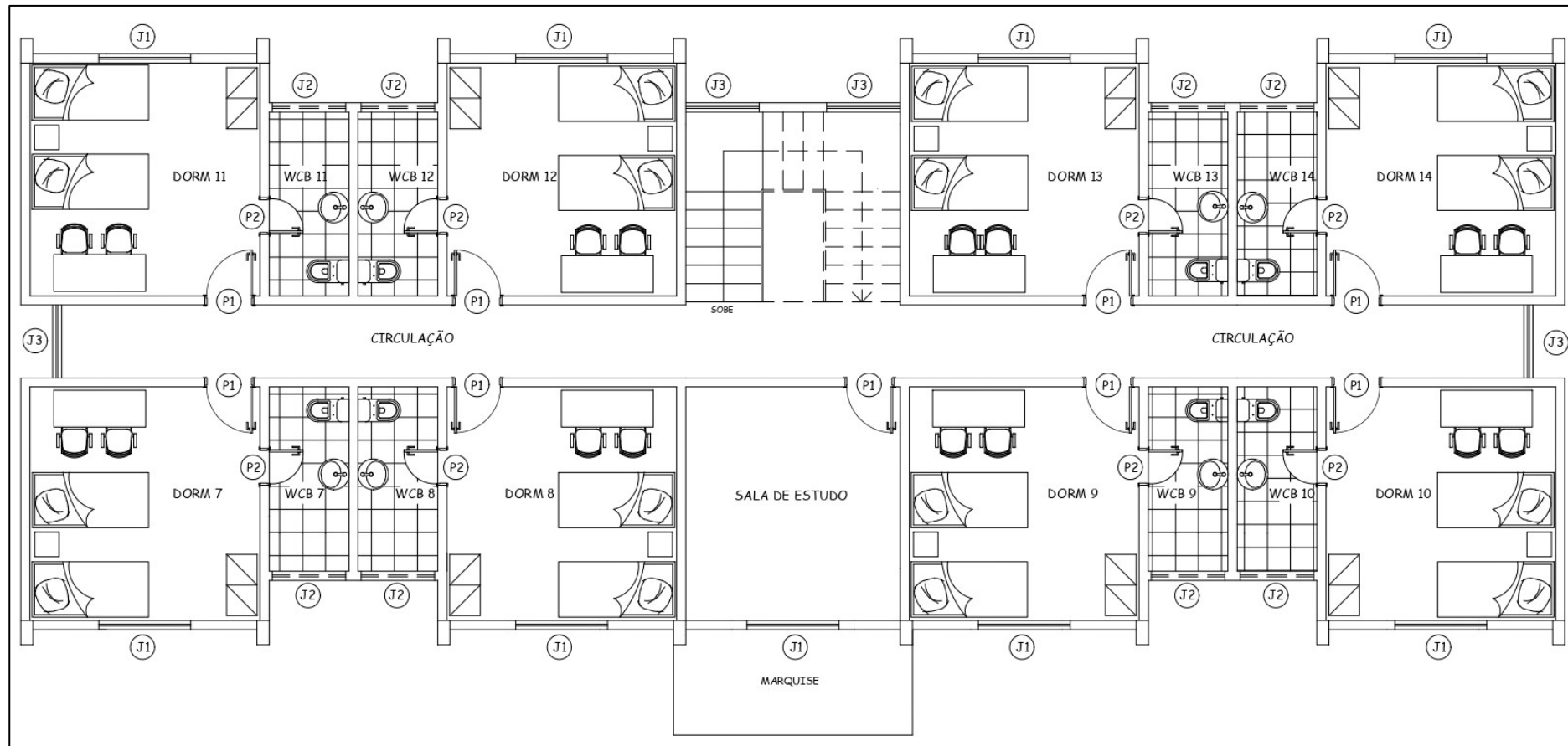
Após a coleta e análise dos projetos, foi verificado que os projetos fornecidos pela subprefeitura do CCTA não condiziam com a realidade construída. Com isso, para seguir o estudo foi preciso fazer um *As Built*. Vale salientar que no levantamento foi verificado que as duas residências internas apresentavam as mesmas medidas. Sendo assim, foi desenvolvida a modelagem de apenas uma residência para análise do desempenho térmico. As Figuras 12, 13 e 14 apresentam as plantas baixas, resultantes do *As Built*, do pavimento térreo, pavimento superior e cobertura, respectivamente.

Figura 12 – Planta baixa do pavimento térreo



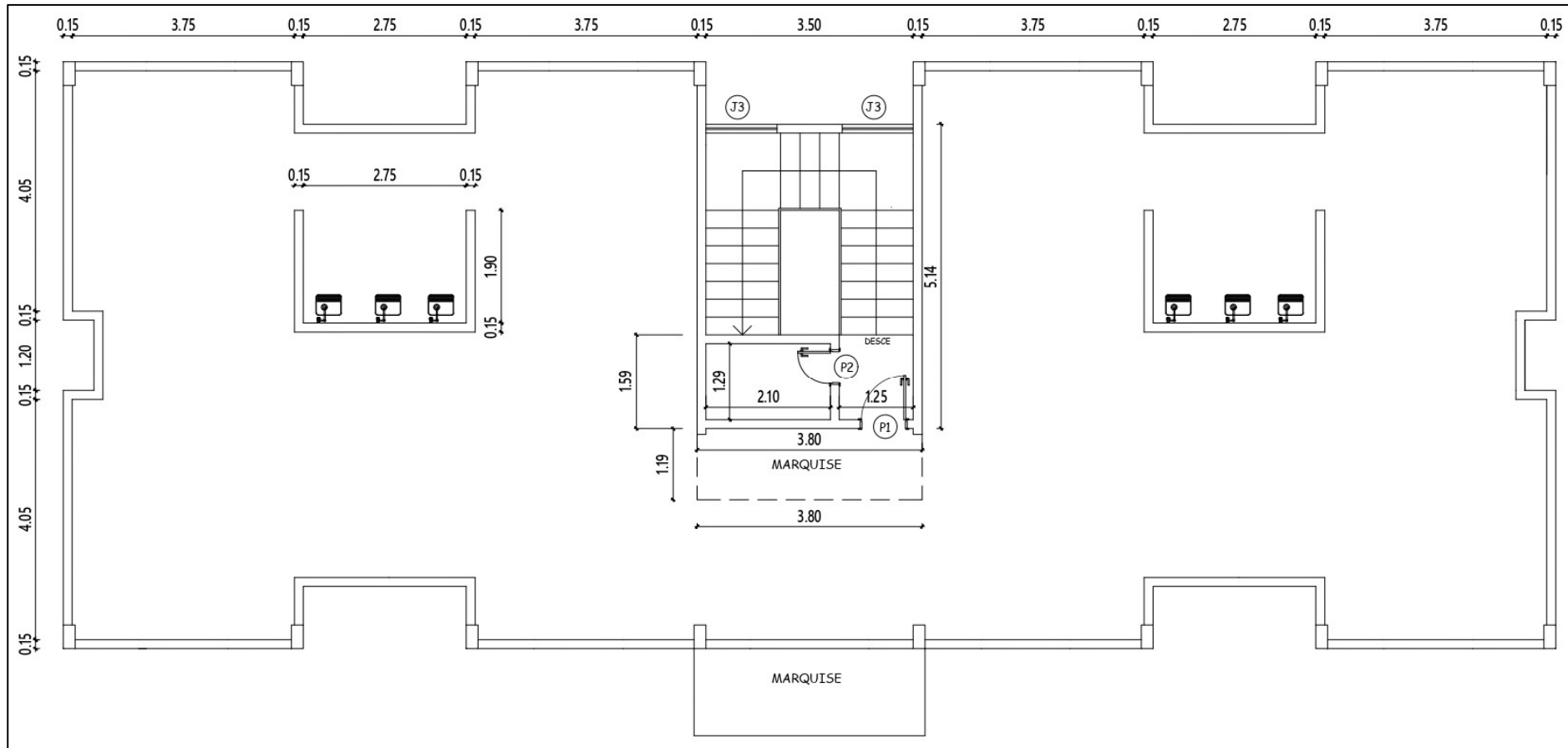
Fonte: Autora (2023)

Figura 13 – Planta baixa do primeiro pavimento



Fonte: Autora (2023)

Figura 14 – Planta baixa do pavimento de cobertura



Fonte: Autora (2023)

4.1.1 Caracterização do sistema construtivo

A caracterização do sistema construtivo da edificação foi feita com base nas visitas *in loco*, já que o memorial descritivo do projeto das Residências Universitárias não foi fornecido. A edificação possui um pé direito de 2,8 m e foi construída em concreto armado, sendo a alvenaria de vedação, geralmente, com 12 cm total de largura. Com isso, foi considerado o uso de blocos cerâmicos de 8 furos (9 x 19 x 19 cm), assentados na menor dimensão, que é o mais utilizado nas obras da região.

A largura de cada parede, interna e externa, será especificada no tópico 4.3 deste trabalho. Essa distinção entre as larguras das paredes acontece quando existe a presença de algum revestimento cerâmico colado em umas das faces da alvenaria. Um dos revestimentos cerâmicos presentes nas paredes externas da edificação é do tipo tijolinho aparente (litocerâmica) 23 x 7 cm e o outro, é do tipo cerâmica esmaltada azul 10 x 10 cm (este, presente tanto paredes externas da caixa da escada quanto nos ambientes do pavimento coberta).

Quanto ao piso da edificação, este é do tipo granilite com painéis quadrados de no máximo 1,0 m² de área. Para laje foi adotada uma altura de 10 cm e sistema construtivo de laje maciça em concreto armado. Quanto as esquadrias da edificação, o Quadro 4 mostra o tipo, as dimensões, o material e a quantidade de cada tipo nas Residências Universitárias.

Quadro 4 – Esquadrias de cada Residência Universitária interna

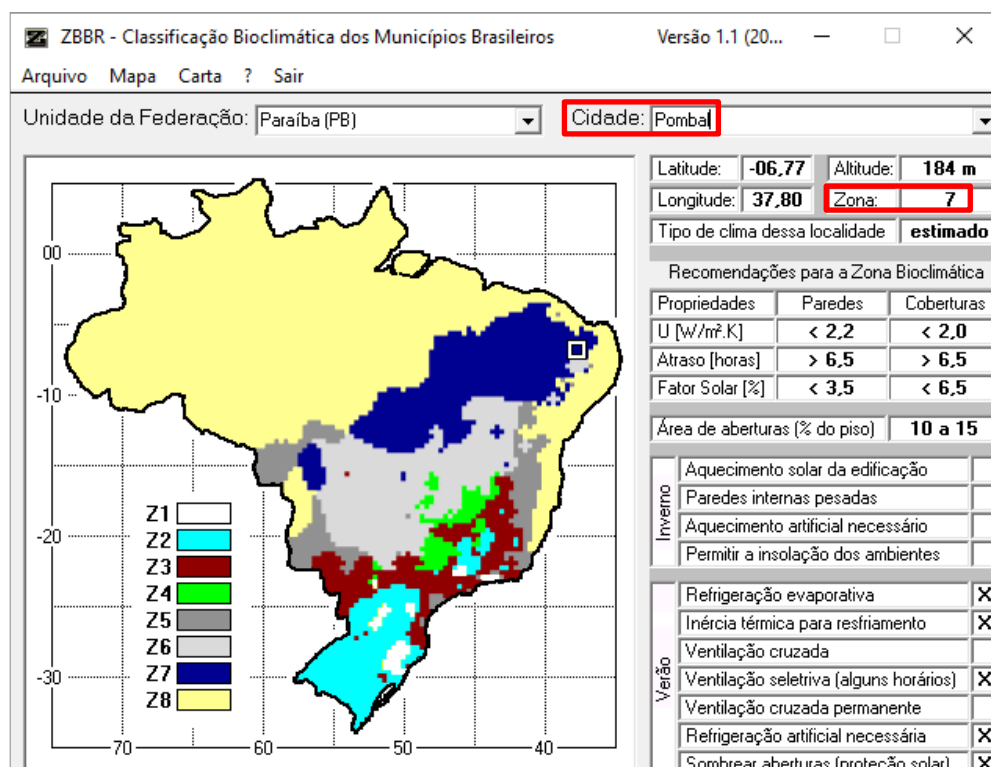
Código	Tipo	Folhas	Dimensões (m)			Material	Qnt.
			Largura	Altura	Peitoril		
Portas							
P1	Abrir	1	0,8	2,1	-	Madeira	16
P2	Abrir	1	0,6	2,1	-	Madeira	16
P3	Abrir	2	2,0	2,1	-	Vidro	1
Janelas							
J1	Correr	2	1,5	1,4	1,0	Vidro	17
J2	Guilhotina	2	1,2	0,4	2,0	Vidro	16
J3	Correr	2	1,2	1,4	1,0	Vidro	8

Fonte: Autora (2023)

4.2 Zona bioclimática do município de Pombal-PB

Como já mencionado anteriormente, o Brasil possui 8 diferentes zonas bioclimáticas ao longo de sua extensão. Para facilitar a identificação da zona bioclimática da região em estudo foi utilizado o software ZBBR, versão 1.1 (2006), fornecido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O ZBBR permite a classificação dos municípios brasileiros em suas respectivas zonas bioclimáticas conforme a NBR 15220-3 (2005). A Figura 15 mostra que o município de Pombal-PB está localizado na Zona Bioclimática 7.

Figura 15 – Zona Bioclimática do município de Pombal-PB.



Fonte: LabEEE (2006)

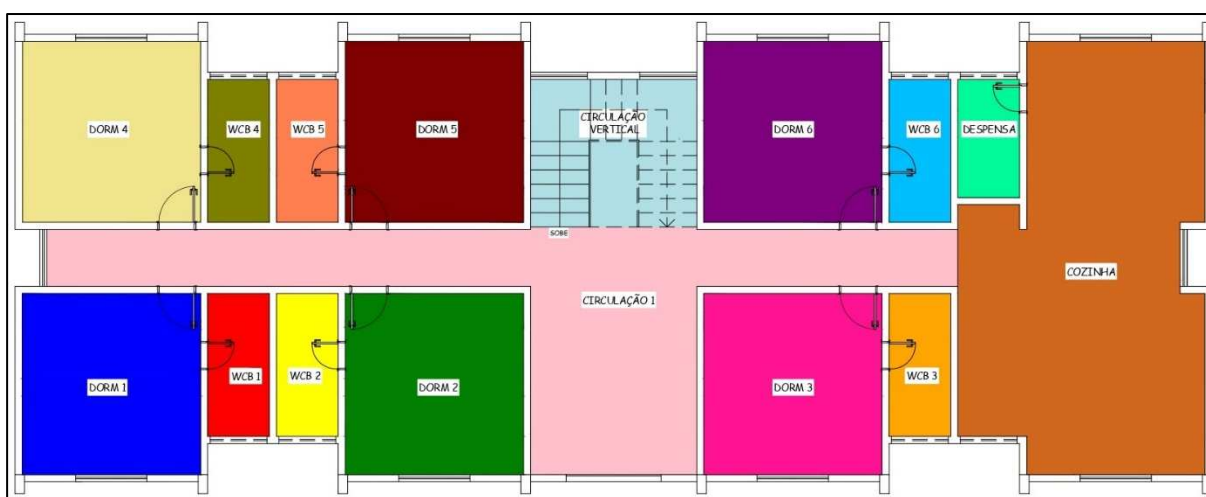
4.3 Simulação computacional

Neste tópico, será apresentado todo o passo a passo necessário para realização da simulação computacional das Residências Universitárias, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013).

4.3.1 Definição das zonas térmicas

Para realização da simulação computacional é preciso definir as zonas térmicas durante a modelagem. De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), cada ambiente da edificação deve ser considerado como uma zona térmica. Assim, a divisão das zonas da edificação em estudo foi definida com base na divisão de suas dependências. As Figuras 16, 17 e 18 apresentam a divisão das zonas térmicas em cada pavimento da residência.

Figura 16 – Zonas térmicas do pavimento térreo



Fonte: Autora (2023)

Figura 17 – Zonas térmicas do primeiro pavimento



Fonte: Autora (2023)

Figura 18 – Zonas térmicas do pavimento de cobertura



Fonte: Autora (2023)

Os ambientes internos comuns, como o *hall* de entrada, circulação vertical e os corredores podem ser agrupados e modelados em uma mesma zona. Como pode ser observado na Figura 16, a sala da edificação foi agrupada na mesma zona do corredor do pavimento térreo. Outro detalhe a ser observado, é que toda a circulação vertical (escada) da edificação foi agrupada em uma mesma zona térmica.

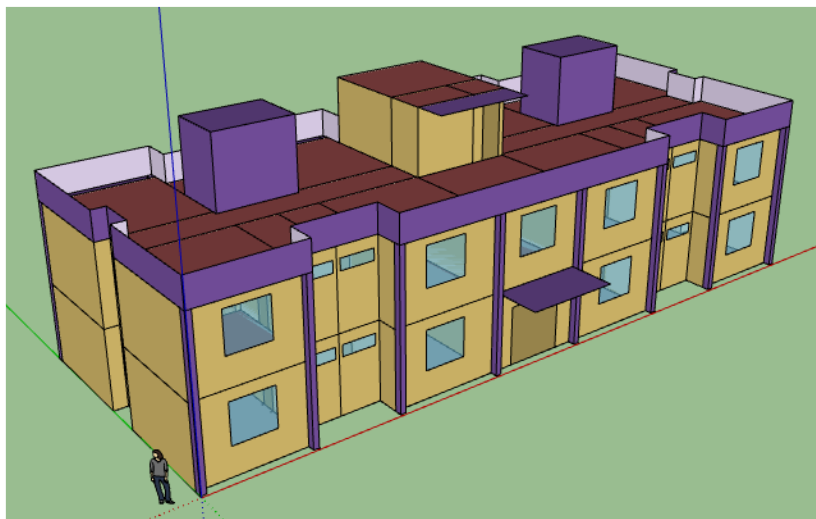
Desse modo, existe 36 zonas térmicas em toda edificação. Entretanto, a NBR 15575 (ABNT, 2013) apresenta critérios de avaliação somente para as salas e dormitórios, isto é, para os Ambientes de Permanência Prolongada (APP). Como a sala da residência em estudo é um ambiente de área comum, servindo como *hall* de entrada, nesse estudo ela foi considerada um Ambiente de Permanência Transitória (APT). Seguindo esse aspecto, de acordo com a norma, somente as zonas térmicas referentes aos dormitórios da edificação deveriam ser analisadas. Entretanto, como se trata de uma edificação destinada a moradia de estudantes e o intuito desse estudo é analisar o desempenho térmico das Residências Universitárias para averiguar se estas estão provendo conforto térmico aos alunos residentes, tornou-se interessante analisar, além dos dormitórios, a sala de estudo da edificação.

4.3.2 Modelagem das Residências Universitárias

A modelagem da volumetria das residências foi feita no *software SketchUp Pro*, versão teste (2022). Com a criação das zonas térmicas por meio da extensão *Euclid*,

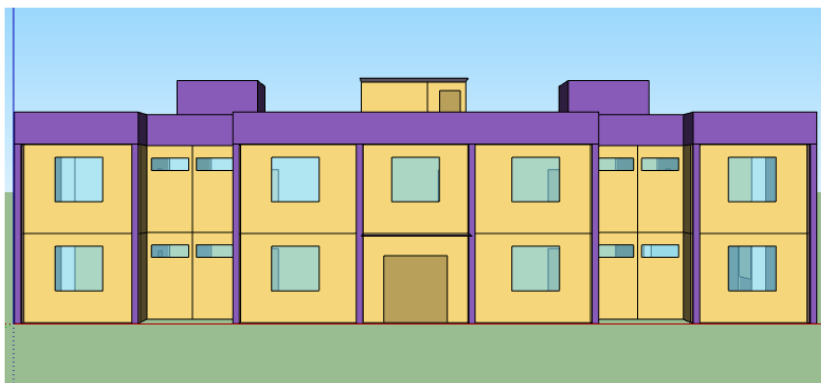
as paredes apresentam tonalidade amarelada, as janelas são transparentes, as portas apresentam tonalidade amarronzada e a cobertura da edificação apresenta tonalidade avermelhada. As Figuras 19, 20 e 21 mostram a edificação modelada.

Figura 19 – Modelo tridimensional da residência



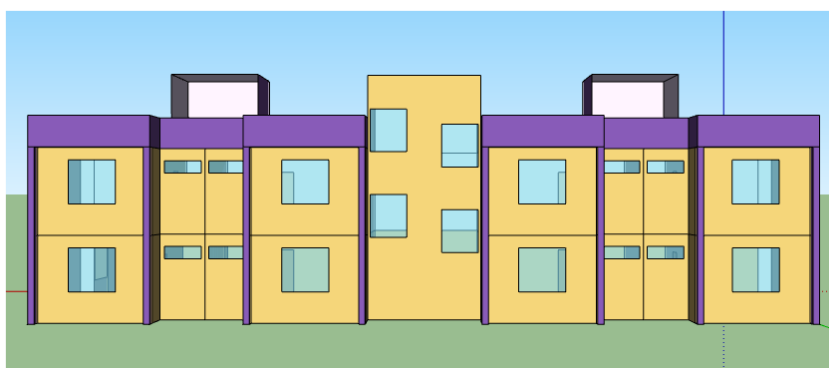
Fonte: Autora (2023)

Figura 20 – Vista frontal da modelagem da residência



Fonte: Autora (2023)

Figura 21 – Vista posterior da modelagem da residência



Fonte: Autora (2023)

Nas Figuras 19, 20 e 21 pode-se identificar o limite das zonas térmicas entre os pavimentos da residência. A tonalidade roxa representa os elementos de sombreamento. As marquises, os pilares presentes na fachada, as lavanderias e toda extensão do guarda corpo presente no pavimento de cobertura foram modelados como elementos de sombreamento. A NBR 15575 (ABNT, 2013) apresenta que elementos externos fixos na fachada, como marquises e beirais, devem ser modelados como elementos de sombreamento.

4.3.3 Propriedades térmicas dos materiais construtivos

Para que a simulação computacional aconteça é necessário considerar as propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados na edificação. A Tabela 1 apresenta as propriedades térmicas (condutividade térmica, calor específico e densidade de massa aparente) dos materiais das Residências Universitárias, definidas com base na NBR ISO 10456 (ABNT, 2022).

Tabela 1 – Propriedades térmicas dos materiais construtivos

Material	Condutividade (λ – W/(m.K))	Densidade (ρ – kg/m ³)	Calor específico (Cp – J/kg.K)
Argamassa comum	1	1800	1000
Argamassa colante	1	1800	1000
Tijolinho aparente	0,9	1600	920
Cerâmica azul	0,9	1600	920
Granilite	1,65	2200	1000
Contrapiso	1,65	2200	1000
Radier	2	2400	1000
Laje	2	2400	1000
Madeira	0,13	500	1600

Fonte: Adaptado de NBR ISO 10456 (2022)

Os valores de absorvância solar foram definidos de acordo com a cor de cada elemento na edificação. Por exemplo, a pintura interna da edificação é da cor branca, logo, foi definido que o último material da parede interna (que no caso é a argamassa comum) tivesse a absorvância solar referente a cor branca. Quanto a emissividade dos materiais, os valores normalmente variam entre 0,84 e 0,95, exceto para os materiais feitos de aço ou alumínio que possuem valores de emissividade mais baixos, de

acordo com a NBR 15220-2 (2005). A Tabela 2 mostra os valores de absorvância solar e emissividade dos materiais, definidos com base na NBR 15220-2 (2005).

Tabela 2 – Absortância solar e emissividade dos materiais construtivos

Material	Absortância solar (α)	Emissividade (ϵ)
Argamassa comum	0,25	0,9
Argamassa colante	0,4	0,9
Tijolinho aparente	0,5	0,9
Cerâmica azul	0,7	0,9
Granilite	0,4	0,9
Contrapiso	0,65	0,9
Radier	0,65	0,9
Laje	0,25	0,9
Madeira	0,5	0,9
Bloco cerâmico	0,7	0,9

Fonte: Adaptado de NBR 15220 (2005)

Quanto ao bloco cerâmico, sabe-se que este não é um material homogêneo já que apresenta câmaras de ar no seu interior. Então, para determinar a espessura e as propriedades térmicas do bloco cerâmico de 8 furos para configurar no *software* de simulação, tomou-se como base o estudo de Ordenes, Pedrini, Ghisi e Lamberts (2003), que especifica as propriedades e espessura do bloco cerâmico utilizado na edificação em estudo e a resistência térmica de uma câmara de ar com 2 a 5 cm de espessura, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades térmicas do bloco cerâmico

Material	Espessura equivalente (m)	Condutividade ($\lambda - W/(m.K)$)	Densidade ($\rho - kg/m^3$)	Calor específico ($C_p - J/kg.K$)	Resistência térmica (m^2K/W)
Câmara de ar (2 – 5 cm)	-	-	-	-	0,16
Cerâmica Tijolo 8 furos quadrados (9 cm)	0,014	0,9	2252	920	0,016

Fonte: Adaptado de Ordenes *et.al* (2003)

Em relação aos vidros, como não foi possível obter as propriedades térmicas dos vidros especificadas pelo projetista, o que seria o mais ideal, já que este é um material que influencia bastante nos resultados, adotou-se um vidro comum de 10 mm

com película. O fator solar utilizado foi de 0,43, transmissão luminosa de 0,31 e transmitância térmica de 5,7 W/m².

A partir da especificação das propriedades térmicas dos materiais compõe-se os elementos construtivos das residências, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Composição dos elementos construtivos

Elemento	Composição	Espessura (m)	Espessura total (m)
Parede externa com tijolinho aparente	Tijolinho aparente	0,01	0,13
	Argamassa colante	0,005	
	Argamassa comum	0,01	
	Bloco cerâmico	0,09	
	Argamassa comum	0,015	
Parede externa com cerâmica azul	Cerâmica azul	0,01	0,13
	Argamassa colante	0,005	
	Argamassa comum	0,01	
	Bloco cerâmico	0,9	
	Argamassa comum	0,015	
Parede interna	Argamassa comum	0,015	0,12
	Bloco cerâmico	0,09	
	Argamassa comum	0,015	
Piso térreo	Granilite	0,02	0,17
	Contrapiso	0,05	
	Radier	0,10	
Piso 1º pavimento	Granilite	0,02	0,17
	Contrapiso	0,05	
	Laje	0,10	
Piso do pavimento coberta	Laje	0,10	0,10
Esquadrias de vidro	Vidro	0,010	0,010
Esquadrias de madeira	Madeira	0,035	0,035

Fonte: Autora (2023)

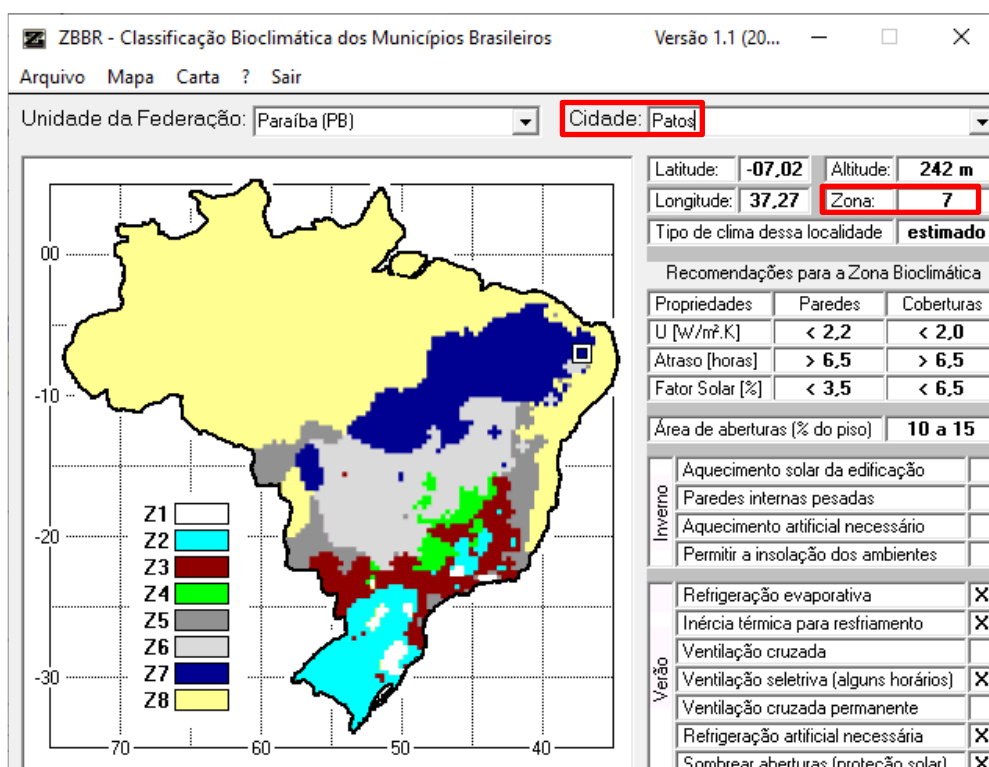
4.3.4 Arquivo climático

O arquivo climático utilizado na simulação deve conter dados do clima da cidade onde se encontra a habitação. Se a cidade da edificação em estudo não possuir arquivo climático, deve ser utilizado dados climáticos da cidade mais próxima que tenha clima semelhante e que esteja na mesma zona bioclimática. A norma

recomenda que os arquivos utilizados sejam provenientes de instituições reconhecidas e sejam de domínio público (ABNT, 2013).

No presente estudo, foram utilizados os arquivos climáticos fornecidos pelo LabEEE da UFSC que adapta os dados captados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) ao *EnergyPlus*. Como o município de Pombal-PB não possui arquivo climático, foi utilizado o arquivo climático da cidade de Patos-PB, que também está localizada na Zona Bioclimática 7, como mostra a Figura 22, e possuiu clima semelhante ao clima de Pombal-PB. Os dados climáticos remetem a cidade no ano de 2018.

Figura 22 – Zona Bioclimática do município de Patos-PB.



Fonte: LabEEE (2006)

4.3.5 Critérios de avaliação

A norma apresenta requisitos de desempenho no verão e no inverno. Quanto aos requisitos no verão, os ambientes internos da edificação devem apresentar condições térmicas melhores que o ambiente externo da edificação, no dia típico de projeto de verão, conforme o critério mostrado no Quadro 5.

Quadro 5 – Critério de avaliação de desempenho térmico para as condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_i, \text{máx.} \leq T_e, \text{máx.}$	$T_i, \text{máx.} \leq T_e, \text{máx.}$
I	$T_i, \text{máx.} \leq (T_e, \text{máx.} - 2 \text{ }^\circ\text{C})$	$T_i, \text{máx.} \leq (T_e, \text{máx.} - 1 \text{ }^\circ\text{C})$
S	$T_i, \text{máx.} \leq (T_e, \text{máx.} - 4 \text{ }^\circ\text{C})$	$T_i, \text{máx.} \leq (T_e, \text{máx.} - 2 \text{ }^\circ\text{C})$

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013, p.62)

O Quadro 5 mostra que a edificação atende o nível mínimo (M) de desempenho térmico nas condições de verão quando o valor máximo diário da temperatura interna dos APP (como dito anteriormente, os dormitórios e a sala de estudo nesse trabalho), sem considerar ocupação, lâmpadas, eletrodomésticos e outras fontes internas de calor, é menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura externa.

Quanto aos requisitos no inverno, os ambientes internos da edificação devem apresentar condições térmicas melhores que o ambiente externo da edificação, no dia típico de projeto de inverno, conforme o critério mostrado no Quadro 6.

Quadro 6 – Critério de avaliação de desempenho térmico para as condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zona 6, 7 e 8
M	$T_i, \text{mín.} \geq (T_e, \text{mín.} + 3 \text{ }^\circ\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_i, \text{mín.} \geq (T_e, \text{máx.} + 5 \text{ }^\circ\text{C})$	
S	$T_i, \text{mín.} \geq (T_e, \text{mín.} + 7 \text{ }^\circ\text{C})$	

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013, p.62)

O Quadro 6 mostra que a edificação atende o nível mínimo (M) de desempenho térmico nas condições de inverno quando o valor mínimo diário da temperatura interna dos APP, sem considerar ocupação, lâmpadas e outras fontes de calor, é maior ou igual ao valor mínimo diário da temperatura externa acrescido de 3 °C. A avaliação do desempenho térmico no inverno só é necessária para as zonas bioclimáticas de 1 a 5. Assim, como a edificação em estudo pertence a zona bioclimática 7, será necessário avaliar o desempenho térmico somente no verão.

Os quadros 5 e 6 também mostram outros critérios de avaliação, tanto para condições de verão quanto para as condições de inverno, para a edificação atender os níveis intermediário (I) e superior (S) de desempenho.

A definição dos dias típicos de projeto foi baseada no estudo realizado por Sorgato, Melo, Marinoski e Lamberts (2014), onde as datas escolhidas foram o dia 21 de dezembro (solstício de verão no hemisfério sul) para dia típico de projeto de verão e o dia 21 de junho (solstício de inverno no hemisfério sul) para dia típico de projeto de inverno.

4.3.6 Parâmetros utilizados na simulação computacional

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) determina parâmetros necessários para realização da simulação computacional, sendo eles:

- a) A taxa de ventilação dos ambientes deve ser igual a uma renovação do volume de ar por hora (1,0 ren/h);
- b) A edificação deve ser orientada conforme sua implantação, ou ainda, se não houver orientação definida, esta deve ser avaliada na condição térmica mais crítica.

Caso, a edificação não atenda aos critérios para as condições de verão, esta deve ser simulada novamente com as seguintes mudanças:

- a) ventilação: configuração da taxa de ventilação de cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora (5,0 ren/h) e janelas sem sombreamento;
- b) sombreamento: inserção de proteção solar externa ou interna da esquadria externa com dispositivo capaz de cortar no mínimo 50 % da radiação solar direta que entraria pela janela, com taxa de uma renovação do volume de ar do ambiente por hora (1,0 ren/h);
- c) ventilação e sombreamento: combinação das duas estratégias anteriores, ou seja, inserção de dispositivo de proteção solar e taxa de renovação do ar de 5,0 ren/h. (ABNT, 2013, p. 25).

Para a realização da simulação, a edificação em estudo foi orientada conforme sua implantação. Além disso e das propriedades térmicas dos materiais construtivos, o *EnergyPlus* também necessita das características do clima e da localização geográfica da residência para realizar a simulação.

As características climáticas referentes à temperatura do ar e as coordenadas geográficas da cidade de Patos-PB, necessárias para simulação, estão incluídas no arquivo climático. A latitude, longitude e elevação, a nível do mar, da cidade de Patos-PB são, respectivamente, -7,02°, -37,28° e 249 m de acordo com o arquivo climático.

Como a temperatura do solo também influencia na simulação, foram utilizados os valores de temperaturas médias mensais do solo da cidade de Patos-PB apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Temperatura média mensal do solo na cidade de Patos-PB

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
°C	28,88	29,09	28,71	28,26	27,09	26,20	25,62	25,46	25,79	26,50	27,44	28,29

Fonte: Arquivo climático (2018)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse capítulo compreende as etapas 4 e 5 da presente pesquisa. Nele serão apresentados os resultados das simulações computacionais juntamente com a análise de cada uma, onde serão apresentados gráficos para melhor compreensão dos resultados. E com base nestes, serão propostas modificações que podem elevar o nível de desempenho térmico da edificação.

5.1 Primeira simulação computacional

Para realização da primeira simulação computacional, a taxa de renovação do ar foi de 1,0 ren/h, conforme orientado pela norma. A Tabela 6 traz os valores por hora da temperatura externa no dia típico de projeto de verão (21 de dezembro), retirados do arquivo climático.

Tabela 6 – Temperatura externa do dia típico de projeto de verão

Horário	Temperatura externa (°C)
01:00	26,2
02:00	25,4
03:00	24,9
04:00	24,5
05:00	24,2
06:00	24,5
07:00	26,1
08:00	27,5
09:00	29,2
10:00	31,2
11:00	32,4
12:00	33,8
13:00	34,2
14:00	34,4
15:00	35,4
16:00	35,2
17:00	34,5
18:00	33,8
19:00	32,9
20:00	31,4
21:00	29,9
22:00	28,6
23:00	27,4
24:00	26,5

Fonte: Arquivo climático (2018)

Percebe-se então, que a temperatura externa máxima foi de 35,4 °C, valor utilizado nos critérios para determinar o nível de desempenho térmico da edificação. O Quadro 7 mostra os valores de referência para determinar o nível de desempenho com base nos critérios de avaliação para condições de verão na zona bioclimática 7.

Quadro 7 – Critério de avaliação para as condições de verão na zona 7

Nível de desempenho	Zona 7
M	Ti, máx. ≤ 35,4 °C
I	Ti, máx. ≤ 33,4 °C
S	Ti, máx. ≤ 31,4 °C

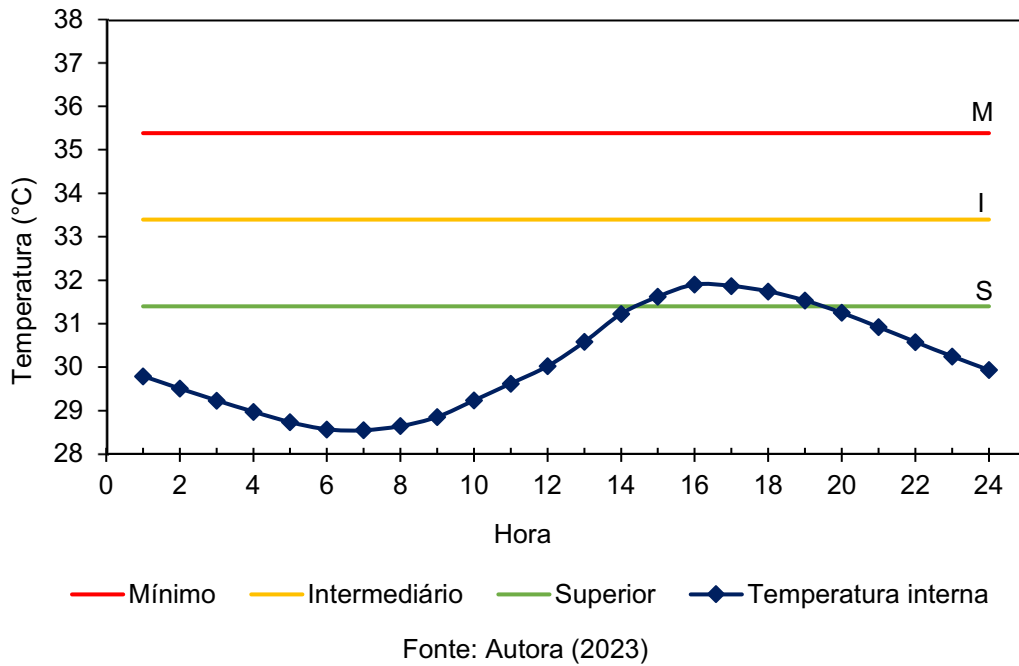
Fonte: Elaborado pela autora de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013)

A seguir, serão apresentados os gráficos acerca dos resultados obtidos na primeira simulação para cada APP (dormitórios e sala de estudo). Os gráficos apresentam a temperatura interna do ambiente em cada hora do dia típico de projeto de verão. Os níveis de desempenho térmico são representados por três linhas horizontais, uma vermelha (nível mínimo), uma amarela (nível intermediário) e uma verde (nível superior).

Se a temperatura interna máxima do ambiente estiver abaixo da linha vermelha, o ambiente atingiu nível de desempenho mínimo. Se estiver abaixo da linha amarela, o ambiente atingiu o nível intermediário. Se estiver abaixo da linha verde, o ambiente atingiu o nível superior de desempenho. E caso, a temperatura interna máxima do ambiente esteja acima da linha vermelha, o ambiente não atingiu nem o nível mínimo de desempenho térmico.

A Figura 23 mostra a temperatura interna do Dormitório 1 ao longo das horas do dia típico de verão.

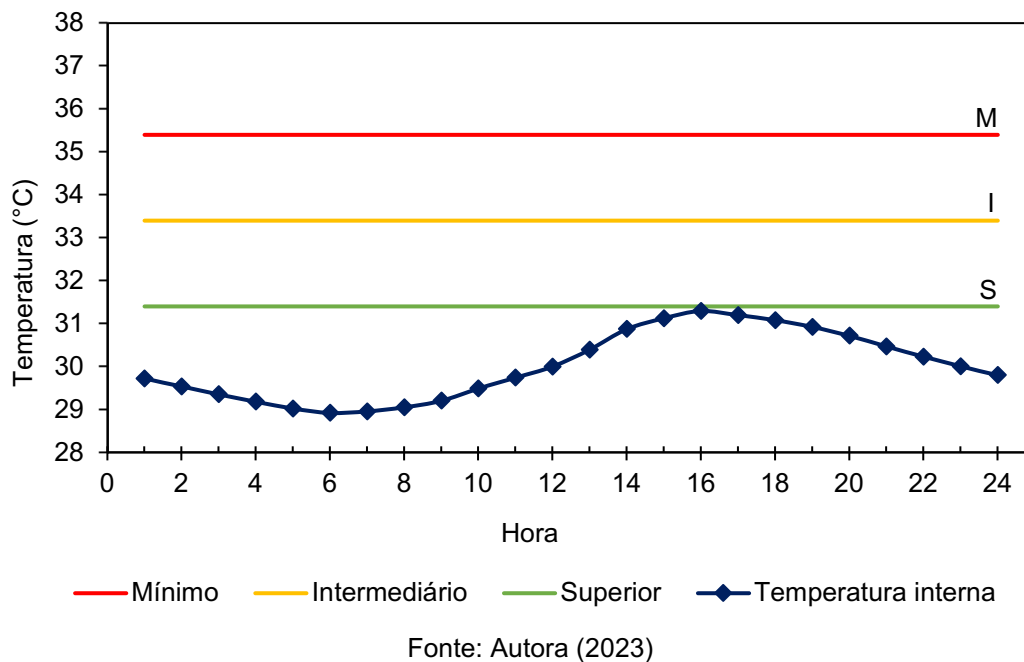
Figura 23 – Temperatura interna do Dormitório 1



A temperatura interna máxima do Dormitório 1 foi 31,9 °C (no gráfico, localizada abaixo da linha amarela e acima da verde), logo, como está abaixo de 33,4 °C (segundo critério do Quadro 7), atingiu o nível intermediário de desempenho térmico.

A Figura 24 mostra a temperatura interna do Dormitório 2 ao longo das horas do dia típico de verão.

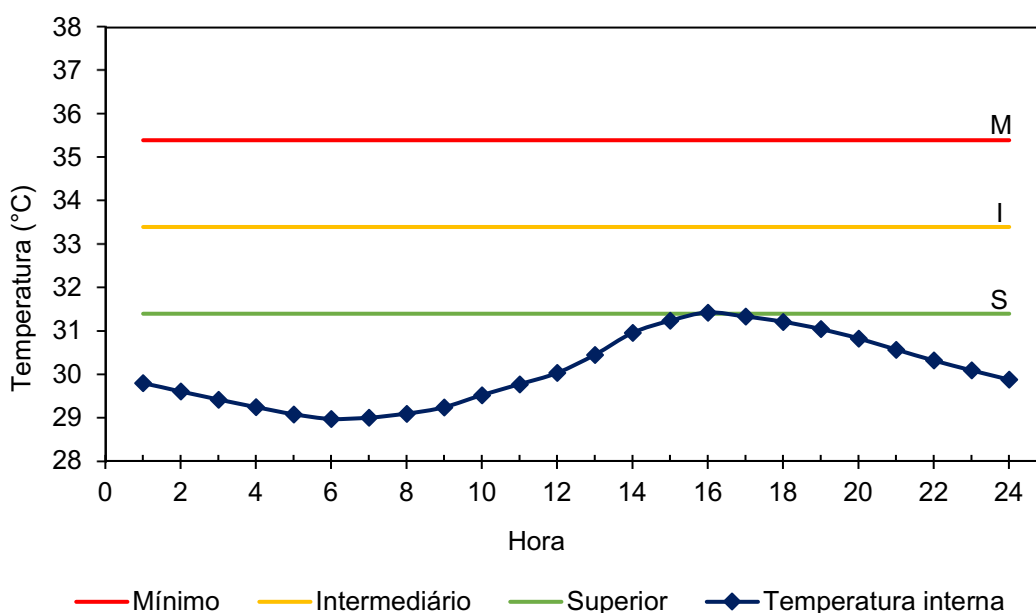
Figura 24 – Temperatura interna do Dormitório 2



A temperatura interna máxima do Dormitório 2 foi 31,3 °C, atingindo o nível superior de desempenho térmico, já que pertence ao terceiro critério (T_i , máx. $\leq 31,4$ °C) do Quadro 7.

A Figura 25 mostra a temperatura interna do Dormitório 3 ao longo das horas do dia típico de verão.

Figura 25 – Temperatura interna do Dormitório 3

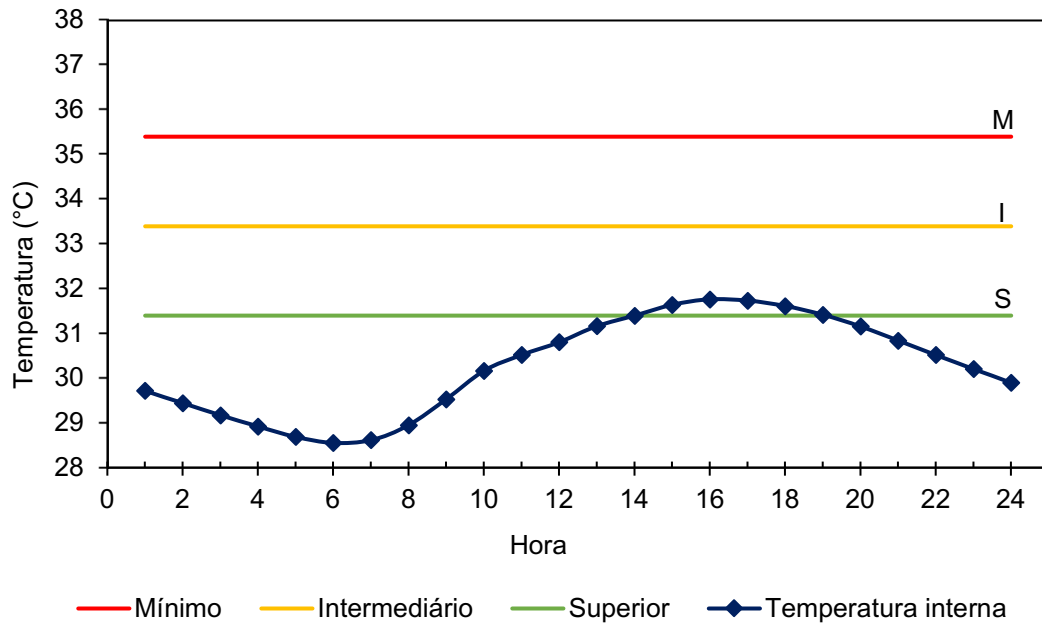


Fonte: Autora (2023)

A temperatura interna máxima do Dormitório 3 foi 31,4 °C, atingindo também o nível superior de desempenho térmico, já que pertence ao terceiro critério (T_i , máx. $\leq 31,4$ °C) do Quadro 7.

A Figura 26 mostra a temperatura interna do Dormitório 4 ao longo das horas do dia típico de verão.

Figura 26 – Temperatura interna do Dormitório 4

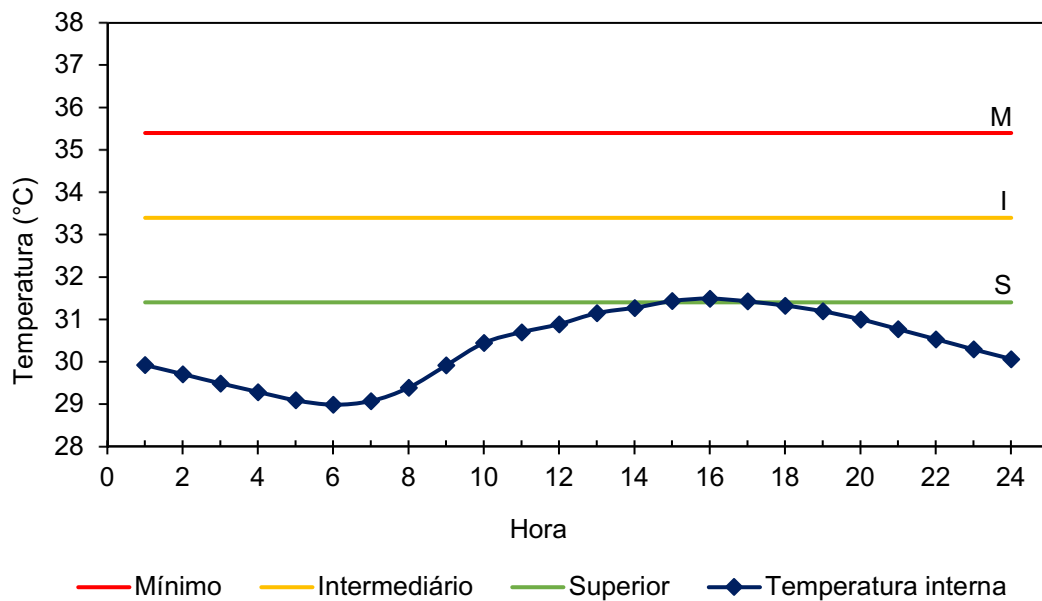


Fonte: Autora (2023)

A temperatura interna máxima do Dormitório 4 foi 31,8 °C, atingindo o nível intermediário de desempenho térmico, já que pertence ao segundo critério (T_i , máx. $\leq 33,4$ °C) do Quadro 7.

A Figura 27 mostra a temperatura interna do Dormitório 5 ao longo das horas do dia típico de verão.

Figura 27 – Temperatura interna do Dormitório 5

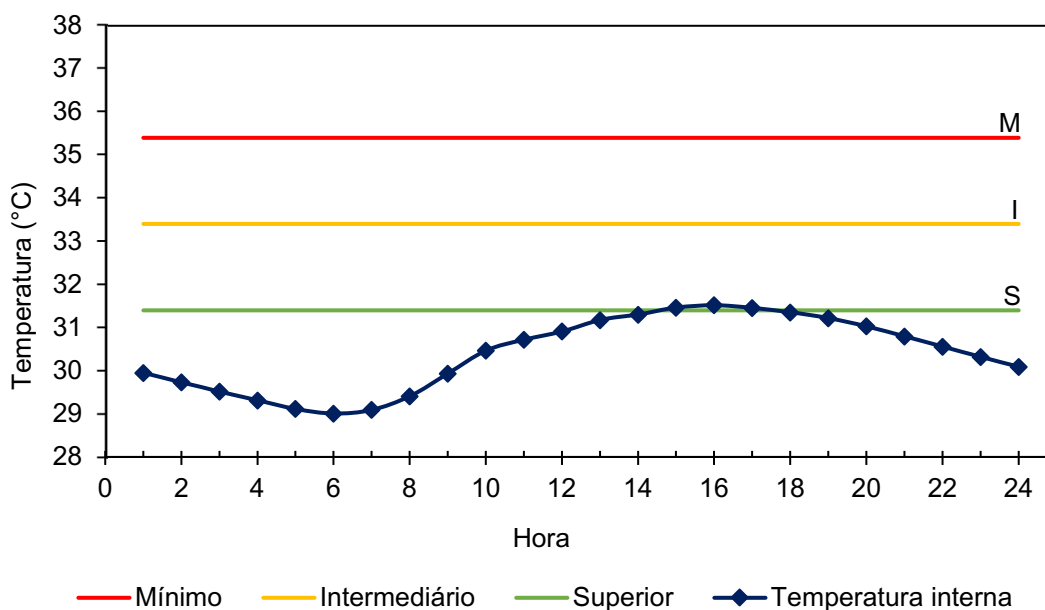


Fonte: Autora (2023)

A temperatura interna máxima do Dormitório 5 foi 31,5 °C, atingindo o nível intermediário de desempenho térmico, já que pertence ao segundo critério (T_i , máx. \leq 33,4 °C) do Quadro 7.

A Figura 28 mostra a temperatura interna do Dormitório 6 ao longo das horas do dia típico de verão.

Figura 28 – Temperatura interna do Dormitório 6

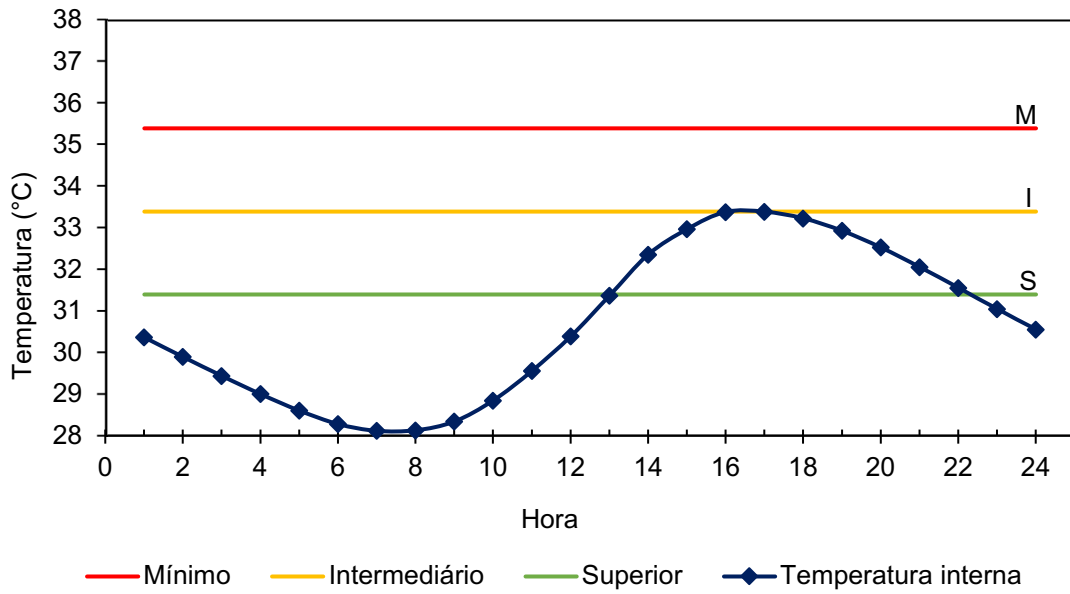


Fonte: Autora (2023)

A temperatura interna máxima do Dormitório 6 também foi de 31,5 °C, atingindo o nível intermediário de desempenho térmico, já que pertence ao segundo critério (T_i , máx. \leq 33,4 °C) do Quadro 7. Percebe-se então, que os todos os dormitórios do pavimento térreo atenderam pelo menos ao nível intermediário de desempenho.

A seguir serão analisados os resultados obtidos dos APP do primeiro pavimento. A Figura 29 mostra a temperatura interna do Dormitório 7 ao longo das horas do dia típico de verão.

Figura 29 – Temperatura interna do Dormitório 7

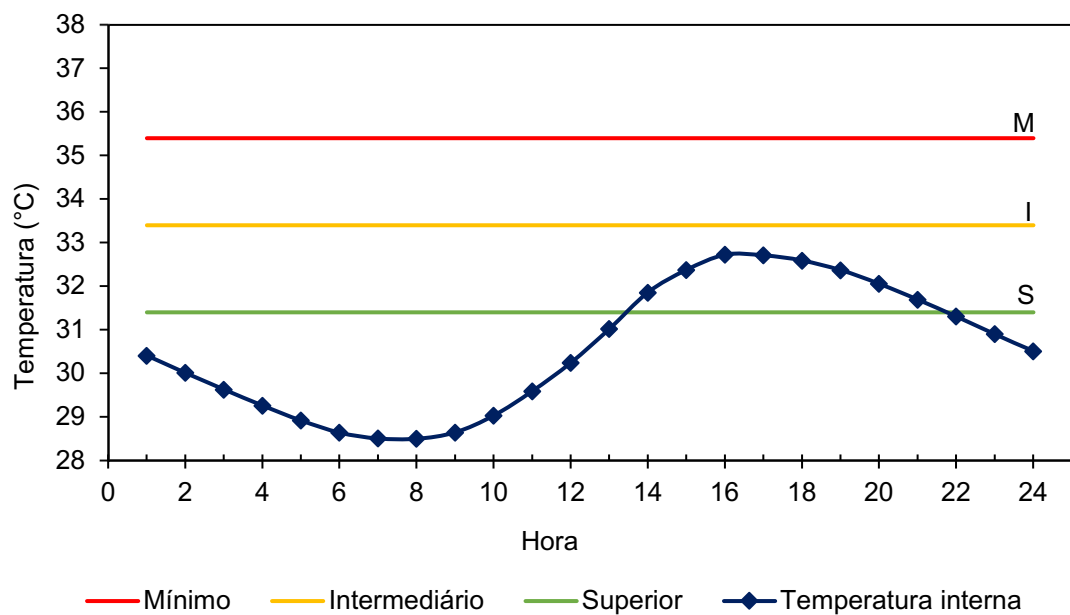


Fonte: Autora (2023)

A temperatura interna máxima do Dormitório 7 foi 33,4 °C, atingindo o nível intermediário de desempenho térmico, já que pertence ao segundo critério (T_i , máx. $\leq 33,4$ °C) do Quadro 7.

A Figura 30 mostra a temperatura interna do Dormitório 8 ao longo das horas do dia típico de verão.

Figura 30 – Temperatura interna do Dormitório 8

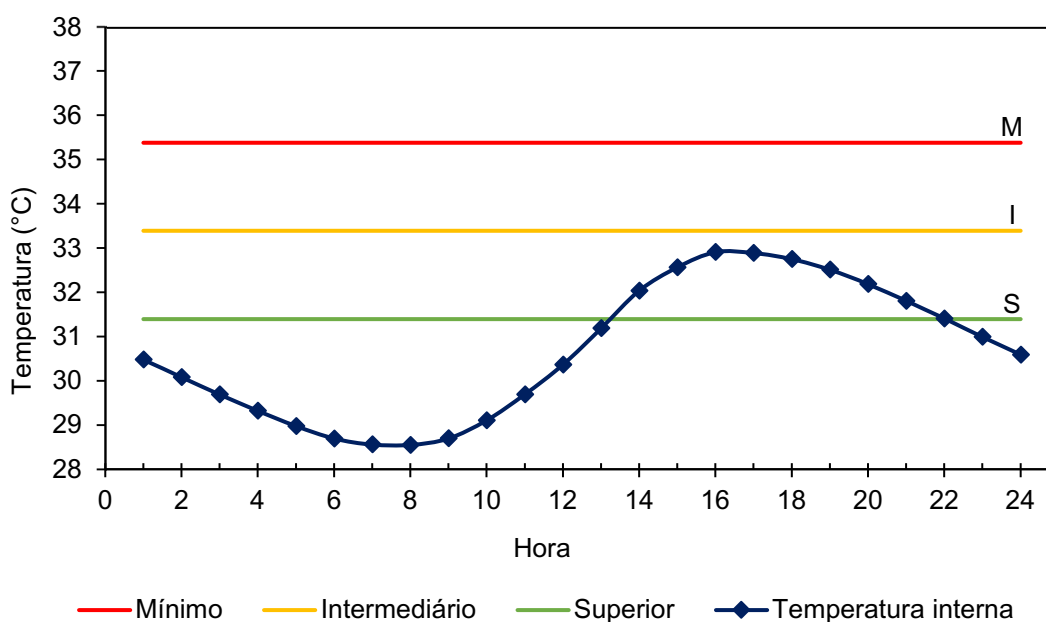


Fonte: Autora (2023)

A temperatura interna máxima do Dormitório 8 foi 32,7 °C, atingindo o nível intermediário de desempenho térmico, já que pertence ao segundo critério (T_i , máx. $\leq 33,4$ °C) do Quadro 7.

A Figura 31 mostra a temperatura interna do Dormitório 9 ao longo das horas do dia típico de verão.

Figura 31 – Temperatura interna do Dormitório 9

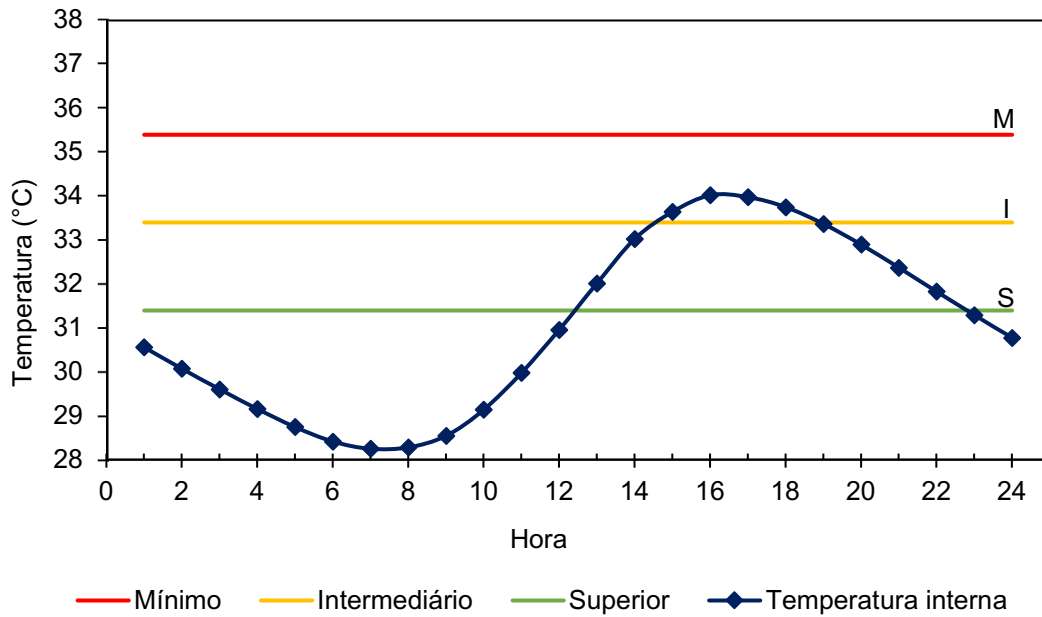


Fonte: Autora (2023)

A temperatura interna máxima do Dormitório 9 foi 32,9 °C, atingindo o nível intermediário de desempenho térmico, já que pertence ao segundo critério (T_i , máx. $\leq 33,4$ °C) do Quadro 7.

A Figura 32 mostra a temperatura interna do Dormitório 10 ao longo das horas do dia típico de verão.

Figura 32 – Temperatura interna do Dormitório 10

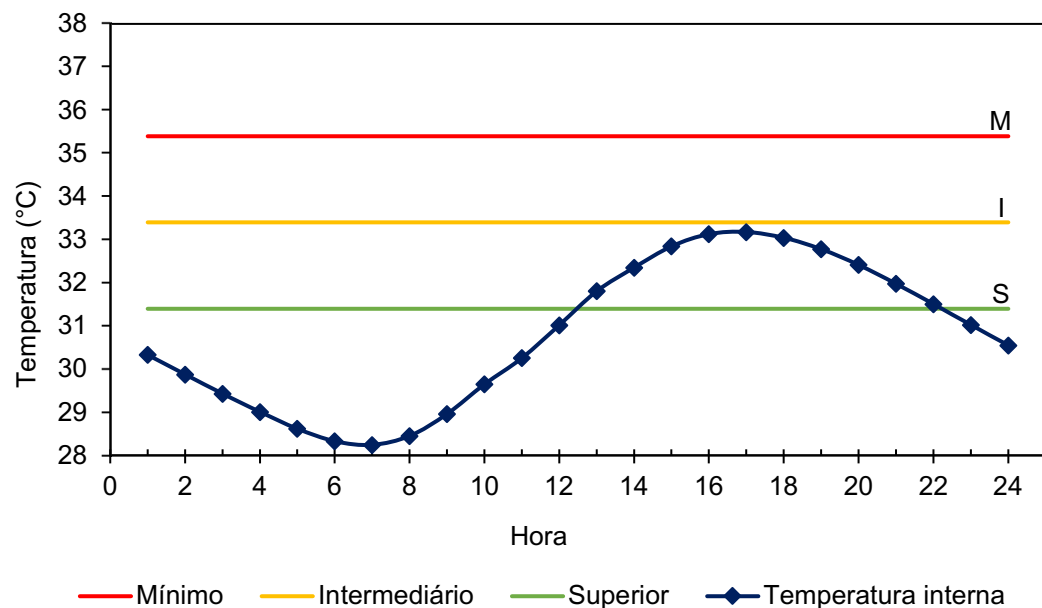


Fonte: Autora (2023)

A temperatura interna máxima do Dormitório 10 foi 34,0 °C, atingindo o nível mínimo de desempenho térmico, já que pertence ao primeiro critério ($T_{i, \text{máx.}} \leq 35,4$ °C) do Quadro 7.

A Figura 33 mostra a temperatura interna do Dormitório 11 ao longo das horas do dia típico de verão.

Figura 33 – Temperatura interna do Dormitório 11

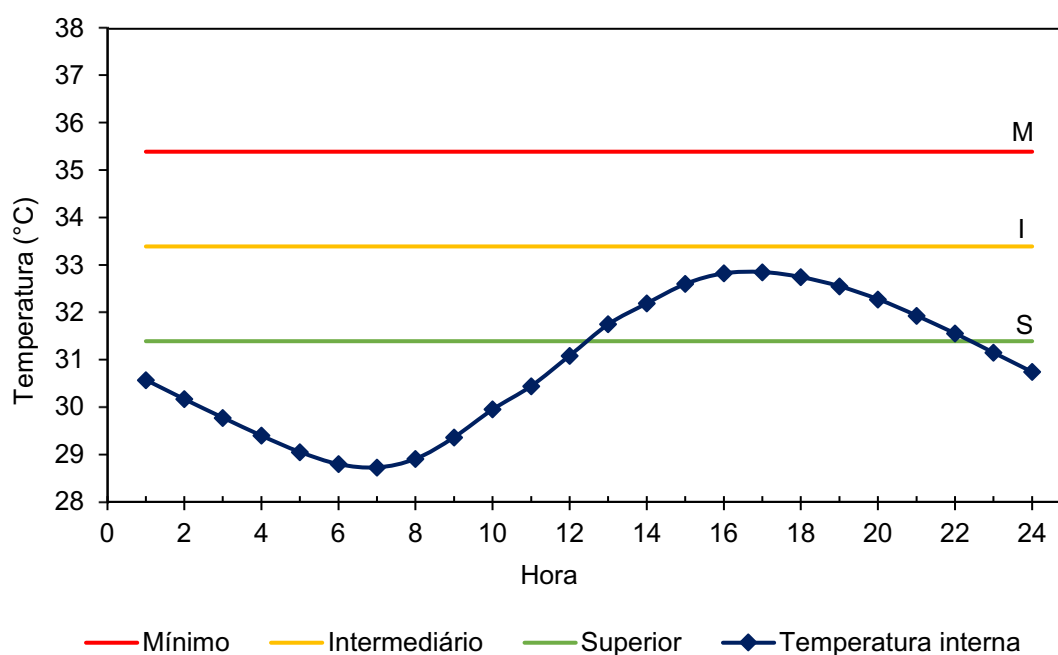


Fonte: Autora (2023)

A temperatura interna máxima do Dormitório 11 foi 33,2 °C, atingindo o nível intermediário de desempenho térmico, já que pertence ao segundo critério (T_i , máx. \leq 33,4 °C) do Quadro 7.

A Figura 34 mostra a temperatura interna do Dormitório 12 ao longo das horas do dia típico de verão.

Figura 34 – Temperatura interna do Dormitório 12

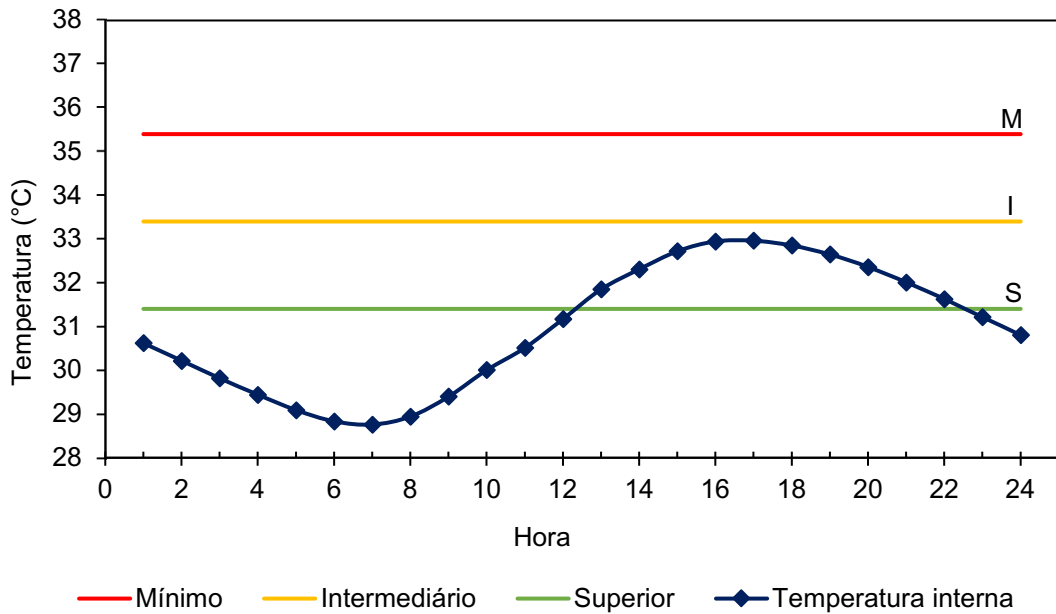


Fonte: Autora (2023)

A temperatura interna máxima do Dormitório 12 foi 32,9 °C, atingindo o nível intermediário de desempenho térmico, já que pertence ao segundo critério (T_i , máx. \leq 33,4 °C) do Quadro 7.

A Figura 35 mostra a temperatura interna do Dormitório 13 ao longo das horas do dia típico de verão.

Figura 35 – Temperatura interna do Dormitório 13

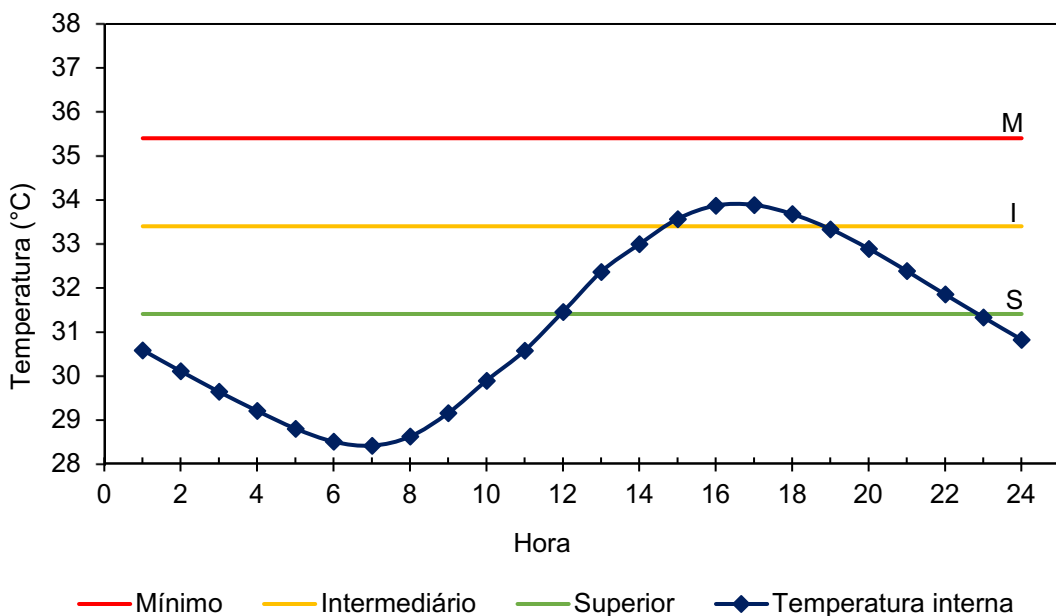


Fonte: Autora (2023)

A temperatura interna máxima do Dormitório 13 foi 33,0 °C, atingindo o nível intermediário de desempenho térmico, já que pertence ao segundo critério (T_i , máx. $\leq 33,4$ °C) do Quadro 7.

A Figura 36 mostra a temperatura interna do Dormitório 14 ao longo das horas do dia típico de verão.

Figura 36 – Temperatura interna do Dormitório 14

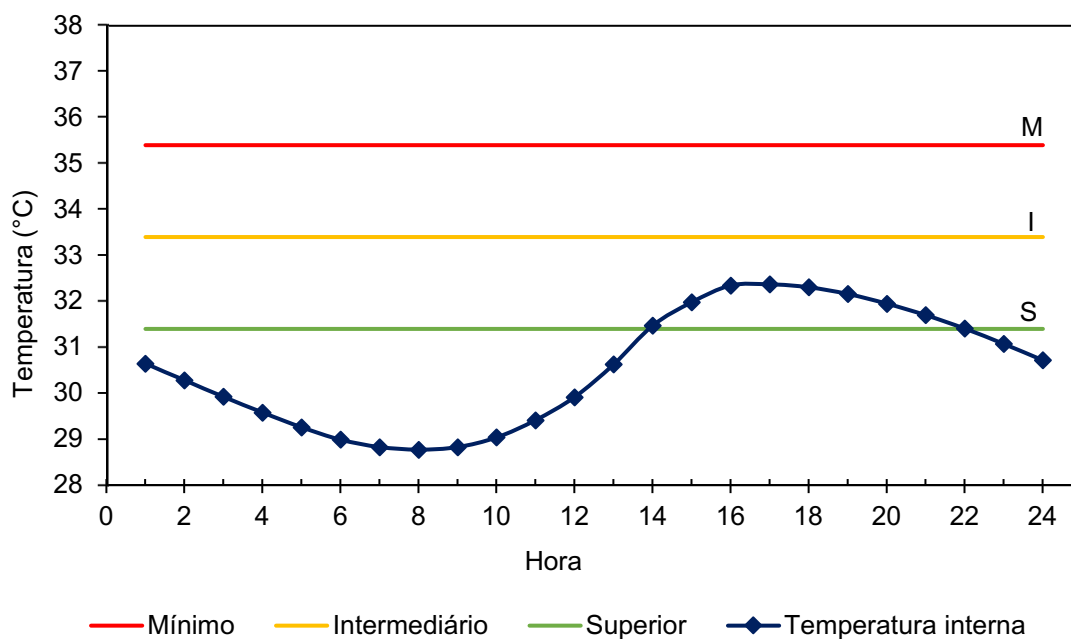


Fonte: Autora (2023)

A temperatura interna máxima do Dormitório 14 foi 33,9 °C, atingindo o nível mínimo de desempenho térmico, já que pertence ao primeiro critério (T_i , máx. $\leq 35,4$ °C) do Quadro 7.

A Figura 37 mostra a temperatura interna da Sala de Estudo ao longo das horas do dia típico de verão.

Figura 37 – Temperatura interna da Sala de Estudo



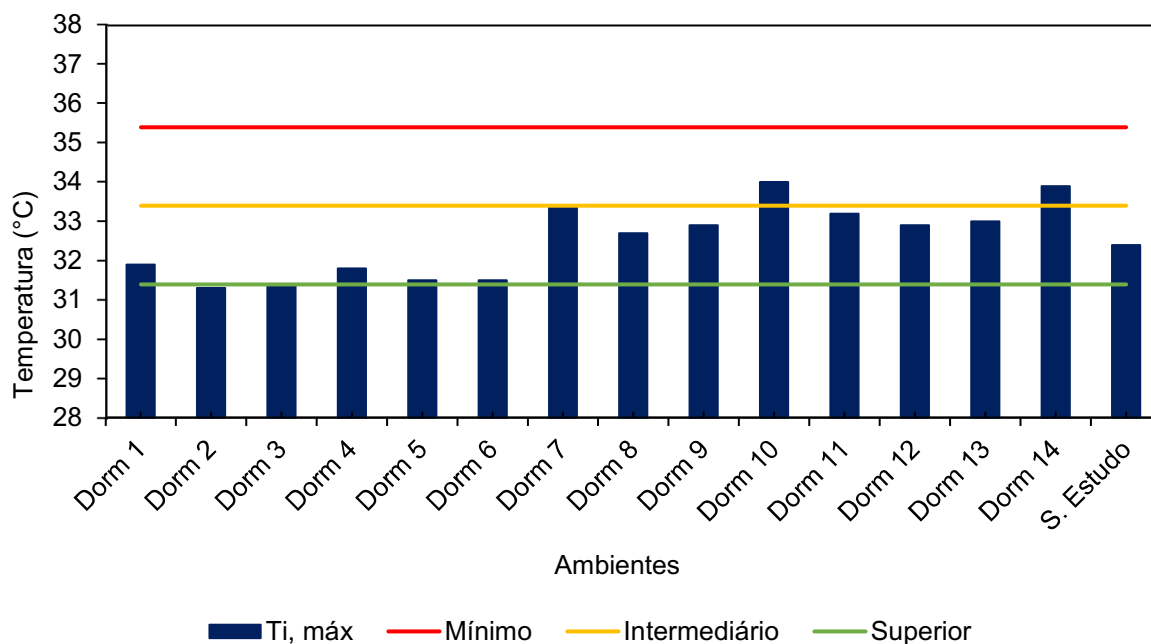
Fonte: Autora (2023)

A temperatura interna máxima da Sala de Estudo foi 32,4 °C, atingindo o nível intermediário de desempenho térmico, já que pertence ao segundo critério (T_i , máx. $\leq 33,4$ °C) do Quadro 7.

Percebe-se então, que dois dormitórios do primeiro pavimento, o Dormitório 10 e o Dormitório 14, atingiram somente o nível mínimo de desempenho térmico, diferentemente de todo resto dos APP da edificação que atenderem pelo menos o nível intermediário. Uma justificativa para que esses dois dormitórios tenham atendido somente ao nível mínimo é o fato de eles estarem do lado oeste da edificação, recebendo radiação solar durante a tarde, e por estarem em contato direto com a laje de coberta.

A Figura 38 traz um resumo de todas as temperaturas internas máximas para os APP, obtidas nessa primeira simulação.

Figura 38 – Resumo das temperaturas internas máximas dos APP



Fonte: Autora (2023)

O nível desempenho térmico de uma edificação é determinado com base na análise de todos os APP. Embora, a maioria dos dormitórios tenham atendido ao nível intermediário, dois dormitórios atenderam ao nível mínimo. Assim, o nível de desempenho térmico das Residências Universitárias internas do CCTA é o nível mínimo.

Como dito anteriormente, se a edificação não atender aos critérios para as condições de verão na primeira simulação, esta deve ser simulada novamente três vezes com mudanças:

- na ventilação;
- no sombreamento;
- na ventilação e no sombreamento (combinação das duas estratégias anteriores).

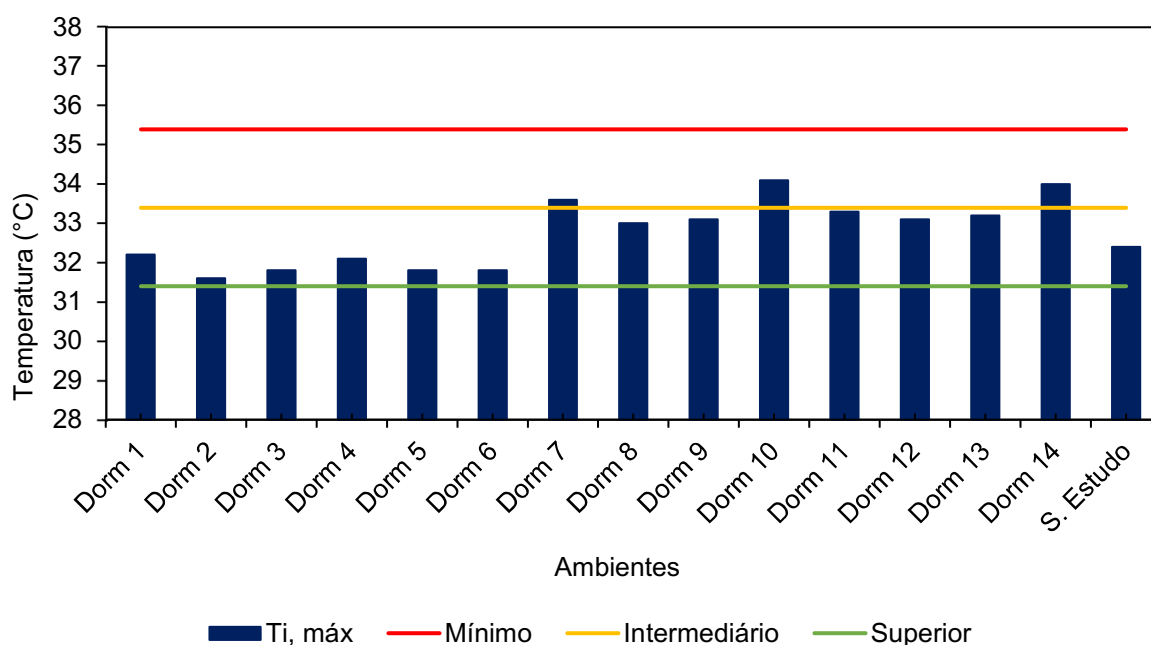
Embora a edificação tenha atendido ao nível mínimo, tornou-se interessante fazer as outras três simulações propostas pela norma, a fim de verificar quais mudanças são significativas para melhorar o desempenho térmico das Residências Universitárias.

5.2 Simulação computacional com mudanças na ventilação

O que altera entre essa simulação e a anterior é o valor de renovação de ar por hora em cada ambiente. A configuração da taxa de ventilação na simulação anterior era de uma renovação do volume de ar por hora (1 ren/h) e agora passa a ser de cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora (5,0 ren/h).

A Figura 39 traz um resumo de todas as temperaturas internas máximas para os APP, obtidas nessa simulação.

Figura 39 – Resumo das temperaturas internas máximas dos APP (ventilação)



Fonte: Autora (2023)

Analisando o gráfico da Figura 39, percebe-se que os valores das temperaturas internas máximas dos APP aumentaram em relação a primeira simulação realizada. Isso porque, como dito anteriormente no tópico 2.4 desse trabalho, a estratégia de ventilação natural não é muito utilizada em climas quentes para prover conforto térmico, por depender justamente da diferença de temperatura entre os ambientes internos e externos.

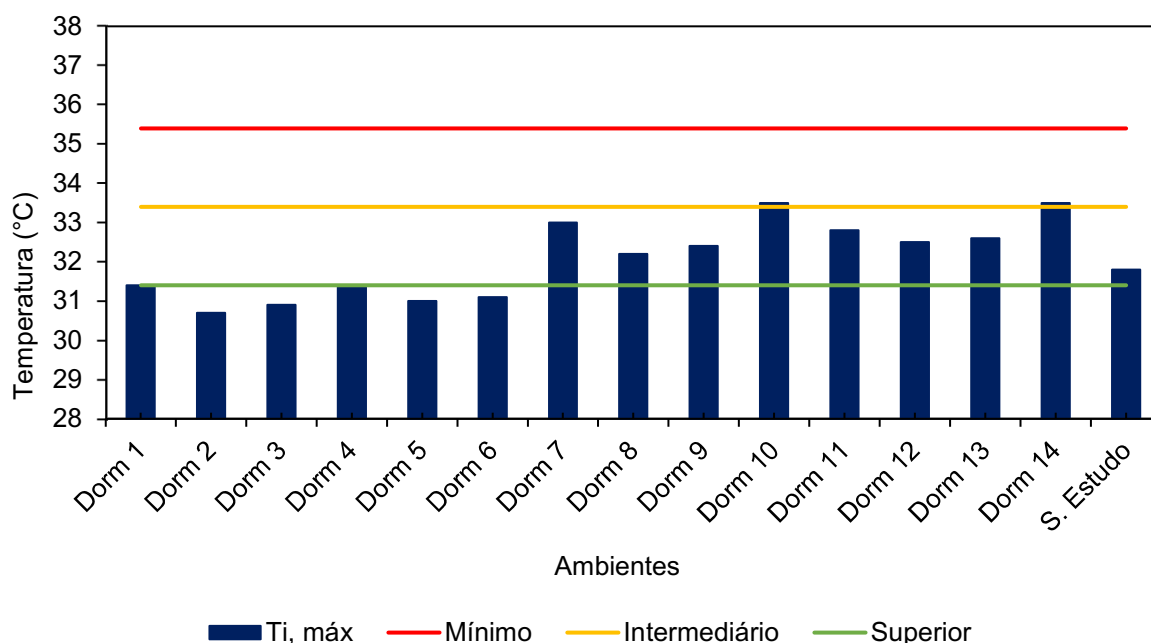
Mesmo com as mudanças, a edificação ainda permanece atendendo ao nível mínimo de desempenho térmico, embora todas as temperaturas internas máximas de cada ambiente de permanência prologada tenham aumentado.

5.3 Simulação computacional com mudanças no sombreamento

Nessa simulação é inserida uma proteção solar externa ou interna nas janelas capaz de cortar no mínimo 50% da radiação solar direta que entraria por essas esquadrias. Nesse estudo, optou-se por inserir persianas com uma inclinação de 45° nas aberturas das janelas, proporcionando 50% de sombreamento. A taxa de ventilação permanece uma renovação do volume de ar por hora (1 ren/h).

A Figura 40 traz um resumo de todas as temperaturas internas máximas para os APP, obtidas nessa simulação.

Figura 40 – Resumo das temperaturas internas máximas dos APP (sombreamento)



Fonte: Autora (2023)

Analisando o gráfico da Figura 40, percebe-se que os valores das temperaturas internas máximas dos APP diminuíram em relação a primeira simulação realizada. Então, nesse caso, estratégias de sombreamento são mais eficazes que estratégias de ventilação. O Dormitório 10, que na primeira simulação teve uma temperatura interna máxima de 34,0 °C, nessa simulação com estratégias de sombreamento, obteve uma temperatura interna máxima de 33,5 °C. Percebe-se então, que nessa simulação o Dormitório 10 quase atendeu ao nível intermediário de desempenho. O mesmo aconteceu também para o Dormitório 14.

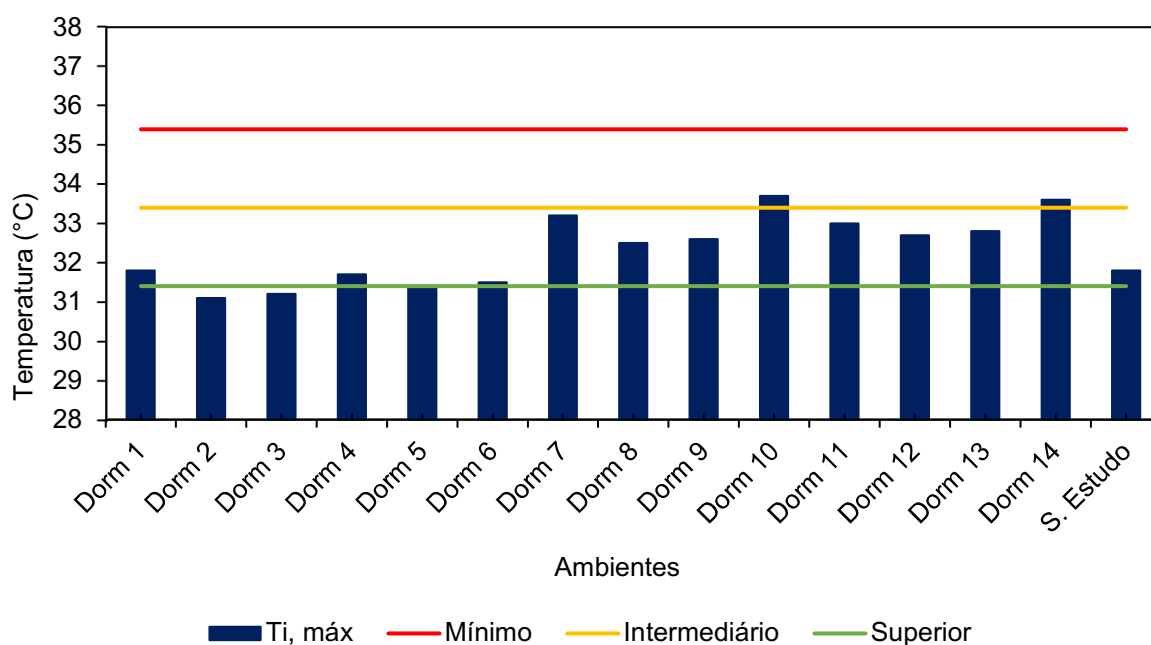
Observa-se também que todos os dormitórios do pavimento térreo atenderam ao nível superior de desempenho. Entretanto, mesmo que as mudanças tenham proporcionado melhores resultados, a edificação ainda permanece atendendo ao nível mínimo de desempenho térmico.

5.4 Simulação computacional com mudanças na ventilação e no sombreamento

Essa simulação é junção das duas estratégias anteriores, a inserção de persianas com uma inclinação de 45° nas aberturas das janelas, proporcionando 50% de sombreamento, e a taxa de ventilação com cinco renovações do volume de ar por hora (5 ren/h).

A Figura 41 traz um resumo de todas as temperaturas internas máximas para os APP, obtidas nessa simulação.

Figura 41 – Resumo das temperaturas internas máximas dos APP (ventilação e sombreamento)



Fonte: Autora (2023)

Analisando o gráfico da Figura 41, percebe-se que os valores das temperaturas internas máximas dos APP permaneceram quase iguais em relação aos da primeira simulação realizada. Como já se sabe, as estratégias relacionadas a ventilação não são adequadas para climas quentes, então, mesmo utilizando a combinação das

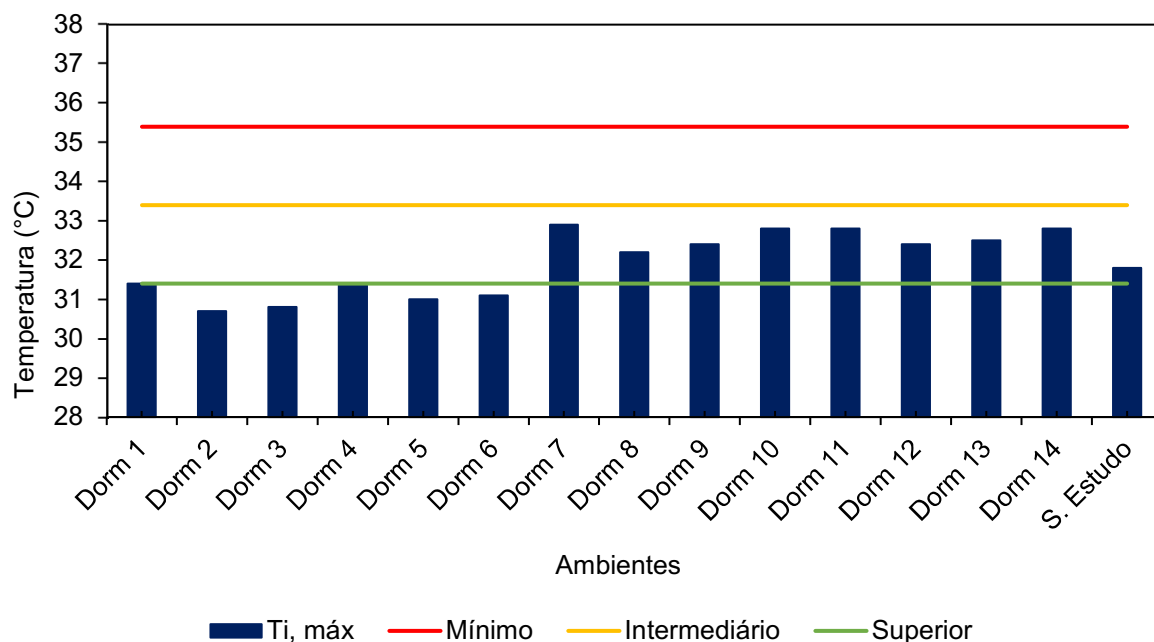
estratégias de ventilação juntamente com as estratégias de sombreamento, a edificação não apresentou resultados significativamente melhores que os da primeira simulação.

5.5 Proposta de melhorias térmicas

Com base na análise dos resultados das simulações anteriores, uma nova simulação foi feita com intenção de propor alternativas para melhorar o nível de desempenho térmico das Residências Universitárias do CCTA. Nessa simulação, foi utilizada a estratégia de sombreamento (inserção de persianas com uma inclinação de 45° nas aberturas das janelas, proporcionando 50 % de sombreamento) juntamente com a estratégia de redução da absorvância com pintura branca na parede do lado oeste da edificação.

A Figura 42 traz um resumo de todas as temperaturas internas máximas para os APP, obtidas nessa simulação.

Figura 42 – Resumo das temperaturas internas máximas dos APP (sombreamento e absorvância)



Fonte: Autora (2023)

Analisando o gráfico da Figura 42, percebe-se que os valores das temperaturas internas máximas dos APP diminuíram em relação a primeira simulação realizada. O

Dormitório 10 na primeira simulação teve uma temperatura interna máxima de 34,0 °C, na simulação somente com estratégias de sombreamento teve uma temperatura interna máxima de 33,5 °C e nessa simulação, com as estratégias de sombreamento e redução da absorvância solar na parede oeste da edificação, obteve uma temperatura interna máxima de 32,8. O mesmo aconteceu para o Dormitório 14.

Percebe-se então, que o Dormitório 10 e o Dormitório 14 que antes atendiam ao nível mínimo de desempenho, nessa simulação passaram a atender ao nível intermediário de desempenho térmico. Isso faz com que o desempenho térmico da edificação que antes atendia ao nível mínimo por conta desses dois dormitórios passe a atender ao nível intermediário.

Assim, dentre as situações apresentadas, as alternativas que melhoraram o desempenho térmico das Residências Universitárias, elevando o nível de desempenho, foram a inserção das persianas nas janelas dos APP e a pintura branca na parede do lado oeste da edificação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo foi realizado com o intuito de propor melhorias para o desempenho térmico das Residências Universitárias do CCTA, Campus Pombal-PB, a fim de proporcionar conforto térmico para os estudantes residentes. A principal motivação surgiu com a indagação de saber se as residências atendem pelo menos ao nível mínimo de desempenho, já que os alunos que ali residem necessitam de um ambiente termicamente confortável para realizar seus estudos.

Para avaliar o desempenho das residências foi necessário caracterizar todo o sistema construtivo dessas edificações, através de visitas *in loco* e análise de documentações fornecidas, portanto, respondendo ao objetivo específico a).

Depois da caracterização do objeto de estudo, a edificação foi modelada no *SketchUP* através do *plug-in Euclid* para posterior realização das simulações computacionais no *software EnergyPlus*, conforme o procedimento normativo da NBR 15575/2013. O resultado da primeira simulação, que representa como a edificação está construída, constatou que as residências atendem ao nível mínimo de desempenho térmico, portanto, respondendo ao objetivo específico b).

Mesmo atendendo ao nível mínimo, tornou-se interessante fazer outras simulações com mudanças no sombreamento e na ventilação, a fim de encontrar alternativas para melhorar o desempenho térmico da edificação. As simulações com aumento da ventilação não apresentaram resultados satisfatórios, o que já era esperado para uma região de clima quente. A simulação que apresentou melhores resultados foi a que houve a combinação do aumento do sombreamento nas janelas dos APP com a redução da absorvância solar na parede oeste das residências, onde o desempenho térmico atingiu o nível intermediário.

Assim, a inserção de persianas nas janelas dos APP (estratégia de sombreamento) e a pintura branca na parede oeste (estratégia de redução de absorvância solar) são as alternativas propostas para melhorar o desempenho térmico das Residências Universitárias do CCTA, portanto, respondendo ao objetivo específico c).

Embora as residências tenham atendido ao nível mínimo de desempenho térmico sem nenhuma modificação aplicada na simulação, é imprescindível dizer que ocupação e a carga de equipamentos não foram consideradas, fatores esses que

significativos para obtenção de resultados mais próximos da realidade. Com isso, se torna-se necessário analisar o desempenho térmico das residências considerando esses fatores através do procedimento normativo da nova versão da NBR 15575 e comparar os resultados com este estudo.

Como sugestão de continuidade ao estudo, recomenda-se:

- a) Analisar o desempenho térmico das Residências Universitárias do CCTA pelo método de simulação computacional proposto pela nova versão da NBR 15575 (2021) e comparar os resultados com este estudo;
- b) Analisar a sensação de conforto térmico dos alunos residentes nas Residências Universitárias do CCTA por meio de um estudo de campo para auferir se a sensação de conforto está em consonância com este estudo;
- c) Criação de um arquivo climático para o município de Pombal-PB, possibilitando estudos mais condizentes com o clima da cidade.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Standard 55: thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, 2020.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 15575-1/2013: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575-1/2021: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 15220-1/2005: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220-2/2005: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220-3/2005: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 16401-2/2008: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 2: Parâmetros de conforto térmico**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR ISO 10456/2022: Materiais e produtos de construção – Propriedades higrotérmicas – Valores e procedimentos de projeto tabulados para determinar valores térmicos declarados e de projeto**. Rio de Janeiro, 2022.

ABREU-HARBICH, L. V. de; CHAVES, V. L. A.; BRANDSTETTER, M. C. G. O. Evaluation of strategies that improve the thermal comfort and energy saving of a classroom of an institutional building in a tropical climate. **Building and Environment**, [S. l.], v. 135, n. November 2017, p. 257-268, 2018.

BALVEDI, B. F.; SCHAEFER, A.; BAVARESCO, M. V.; ECCEL, J. V.; GHISI, E. Identificação de perfis de comportamento do usuário para edificações residenciais multifamiliares e naturalmente ventiladas em Florianópolis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 149-160, jul./set. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000300273>>. Acesso em: 16 set. 2022.

BOSA, A. M. **Análise de eficiência energética de projetos de residências do Programa Minha Casa Minha Vida**. 2017. 83 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

CUNHA, E. G. *Brise-soleil*: da estética à eficiência energética. **Arquitextos**, São Paulo, ano 11, n. 131.07, Vitruvius, abr. 2011. Disponível em: <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/11.131/3844>>. Acesso em: 10 set. 2022.

ENERGYPLUS. **Getting Started**. Setembro de 2022. Disponível em: <https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v22.2.0/GettingStarted.pdf> Acesso em: 09 out. 2022.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura escolar**: o projeto do ambiente de ensino. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações). **Arquivos Climáticos INMET 2018**. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018>> Acesso em: 10 nov. 2022.

LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações). **Zoneamento Bioclimático do Brasil - UFSCar**. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/downloads/software/zabbr>> Acesso em: 10 nov. 2022.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho térmico de edificações**. Aula 03: Arquitetura e Clima. Disciplina ECV 5161 – UFSC, Florianópolis. 106 p. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula-Arquitetura%20e%20Clima_0.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

LAMBERTS, Roberto; DUARTE, V. C. P. **Desempenho térmico de edificações**. 6 ed. Florianópolis: UFSC, 2016. 239 p.

MENDES, M. V. **Desempenho térmico de habitações de interesse social: estudo no semiárido nordestino**. 2019. 93 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2019.

ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDOE-3.1. **LabEEE**, Florianópolis, 2003. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/pt-br/node/266>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

SANTOS, L. G. R.; DANTAS, P. R.; MECIEL, A. C.; CALDAS, L. R.; CHRISTAKOU, E. D.; SPOSTO, R. M. Simulação computacional termoenergética na arquitetura: Avaliação do desempenho térmico de uma edificação de ensino localizada em Brasília DF. **Arquitextos**, São Paulo, ano 17, n. 203.04, Vitruvius, abr. 2017. Disponível em: <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/17.203/6525>>. Acesso em: 10 set. 2022.

SANTOS, T. L. dos; PORTO, F. H. F. dos S.; SILVA, A. S. Análise da correlação entre conforto e desempenho térmico em habitações de interesse social por simulação computacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 211-229, abr./jun. 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000200396>>. Acesso em: 15 set. 2022.

SIQUEIRA, T. C. P. A.; AKUTSU, M.; LOPES, J. I. E.; SOUZA, H. A. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **REM: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, p. 133-138, Abr./jun. 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0370-44672005000200007>>. Acesso em: 16 set. 2022.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R.; Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 83-101, out./dez. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000400007>>. Acesso em: 15 set. 2022.