



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

EULEY JOHAN DA SILVA DANTAS

**EXPERIMENTO NUMÉRICO SOBRE DESEMPENHO TÉRMICO ESTRUTURAL
DE UMA CASA POPULAR DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA**

ANANINDEUA - PA
2023

EULEY JOHAN DA SILVA DANTAS

**EXPERIMENTO NUMÉRICO SOBRE DESEMPENHO TÉRMICO ESTRUTURAL
DE UMA CASA POPULAR DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Ciência e Tecnologia com ênfase em tecnologia mecânica, pela Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Ananindeua.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Fialho Andrade

ANANINDEUA - PA

2023

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

J65e Johan da silva Dantas, Euley.
 EXPERIMENTO NUMÉRICO SOBRE DESEMPENHO
 TÉRMICO ESTRUTURAL DE UMA CASA POPULAR
 DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA / Euley
 Johan da Silva Dantas. — 2023.
 65 f. : il. color.

 Orientador(a): Prof. Dr. Luiz Claudio Fialho Andrade
 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
 Federal do Pará, Campus Universitário de Ananindeua, Curso de
 Ciência e Tecnologia, Ananindeua, 2023.

 1. Desempenho térmico. 2. Conforto térmico.
 3 . Experimento numérico. Energyplus. I. Título.

CDD 621.402

EULEY JOHAN DA SILVA DANTAS

**EXPERIMENTO NUMÉRICO SOBRE DESEMPENHO TÉRMICO ESTRUTURAL
DE UMA CASA POPULAR DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Ciência e Tecnologia com ênfase em tecnologia mecânica, pela Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Ananindeua.

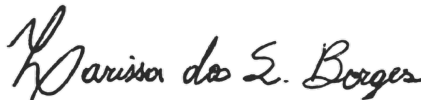
Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Fialho Andrade

APROVADO EM: 30 / 05 / 2023

BANCA EXAMINADORA



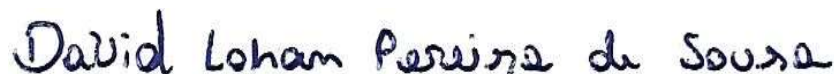
Prof. Dr. Luiz Cláudio Fialho Andrade
Orientador – UFPA



B.Sc. Larissa dos Santos Borges
Examinador externo – UFPA



B.Sc. Jean Carlos de Almeida Nobre
Examinador externo – UFPA



B.Sc. David Lohan Pereira de Sousa
Examinador externo – UFPA

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que tem realizado na minha caminhada neste mundo.

A minha família por todo seu apoio.

Agradeço a Universidade Federal do Pará, por me proporcionar uma experiência extremamente relevante em minha existência.

A Faculdade de Ciência e Tecnologia e seu corpo docente, por ter me proporcionado ensino, pesquisa e extensão de qualidade.

Ao Bacharel em Ciência e Tecnologia Jean Carlos de Almeida Nobre pelos conselhos técnicos neste trabalho.

Ao Prof Dr. Luiz Claudio Fialho Andrade pelo direcionamento e orientação deste trabalho.

RESUMO

O programa social Minha Casa Minha Vida é uma iniciativa do Governo Federal que tem como objetivo principal implementar políticas e programas que promovam o acesso à moradia popular digna para a população de baixa renda. Neste trabalho o projeto padrão de moradia popular é utilizado como caso de teste para simular e analisar numericamente o seu desempenho térmico, com foco na temperatura interna do ar e na umidade relativa interna do ar na moradia. O estudo visa sugerir melhorias no quesito de conforto térmico. O experimento numérico é realizado sobre dados climáticos referentes à cidade de Belém-PA no ano de 2022, para verificar se a casa popular obedece aos padrões de conforto térmico segundo a NBR 16401-2. Os resultados obtidos para o conforto térmico no banheiro com os materiais originários da planta baixa apresentaram 510 horas do ano de 2022, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 1.260 horas. No quarto frontal com os materiais propostos pela planta baixa o conforto térmico apresentou 2.160 horas, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.160 horas. No quarto traseiro com os materiais da planta baixa o conforto térmico apresentou 2.340 horas, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.260 horas. Na sala e cozinha com os materiais da planta baixa o conforto térmico apresentou 3.010 horas, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.820 horas.

Palavras-chave: Desempenho térmico, conforto térmico, experimento numérico, *Energyplus*.

ABSTRACT

The social program My Home My Life is a federal government initiative whose main objective is to implement policies and programs that promote access to decent housing for the low-income population. In this paper, the standard popular housing project is used as a test case to simulate and numerically analyze its thermal performance, focusing on indoor air temperature and indoor relative humidity. The study aims to suggest improvements in thermal comfort. The numerical experiment is performed on climate data for the city of Belém-PA in the year 2022, to verify if the popular house complies with the thermal comfort standards according to NBR 16401-2. The results obtained for thermal comfort in the bathroom with the materials originating from the floor plan showed 510 hours of the year 2022, with the exchange of materials the thermal comfort reached 1,260 hours. In the front bedroom with the materials proposed by the floor plan the thermal comfort presented 2,160 hours, with the exchange of materials the thermal comfort reached 3,160 hours. In the back bedroom with the floor plan materials thermal comfort reached 2,340 hours, with the materials change thermal comfort reached 3,260 hours. In the living room and kitchen with the materials of the ground floor plan thermal comfort had 3,010 hours, with the exchange of materials the thermal comfort reached 3,820 hours.

Keywords: Thermal performance, thermal comfort, numerical experiment, Energyplus.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Casas populares no conjunto habitacional Juritis, Benevides-PA.....	13
Figura 2 - Planta baixa da casa popular.....	25
Figura 3 - Corte transversal da casa popular.....	25
Figura 4 - Elevação frontal casa popular.....	26
Figura 5 - Desenho da casa popular no <i>SketchUp</i>	29
Figura 6 - Mês com a maior temperatura média interna no banheiro.....	31
Figura 7 - Mês com a menor temperatura média interna no banheiro.....	31
Figura 8 - Mês com a maior umidade média interna no banheiro.....	33
Figura 9 - Mês com a menor umidade média interna no banheiro.....	33
Figura 10 - Mês com a maior temperatura média interna no quarto frontal.....	34
Figura 11 - Mês com a menor temperatura média interna no quarto frontal.....	35
Figura 12 - Mês com a maior umidade interna no quarto frontal.....	36
Figura 13 - Mês com a menor umidade interna no quarto frontal.....	36
Figura 14 - Mês com a maior temperatura média interna no quarto traseiro.....	38
Figura 15 - Mês com a menor temperatura média interna no quarto traseiro.....	38
Figura 16 - Mês com a maior umidade média interna no quarto traseiro.....	39
Figura 17 - Mês com a menor umidade média interna no quarto traseiro.....	40
Figura 18 - Mês com a maior temperatura interna na sala e cozinha.....	41
Figura 19 - Mês com a menor temperatura interna na sala e cozinha.....	41
Figura 20 - Mês com a maior umidade média na sala e cozinha.....	43
Figura 21 - Mês com a menor umidade média na sala e cozinha.....	43
Figura 22 - Curva de duração por horas da temperatura do ar nos quatro cômodos.....	44
Figura 23 - Curva de duração por horas da umidade do ar nos quatro cômodos.....	45
Figura 24 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 no banheiro.....	45
Figura 25 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 no quarto frontal.....	46
Figura 26 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 no quarto traseiro.....	47
Figura 27 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 na sala e cozinha.....	48

Figura 28 - Curva de duração por horas da temperatura do ar nos quatro cômodos com a troca de materiais.....	56
Figura 29 - Curva de duração por horas da umidade do ar nos quatro cômodos com a troca de materiais.....	56
Figura 30 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 no banheiro com a troca de materiais.....	57
Figura 31 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 no quarto frontal com a troca de materiais.....	58
Figura 32 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 no quarto traseiro com a troca de materiais.....	58
Figura 33 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 na sala e cozinha com a troca de materiais.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Materiais construtivos da casa popular.....	26
Tabela 2 - Propriedades térmicas dos materiais.....	27
Tabela 3 - Temperatura interna do ar no banheiro.....	30
Tabela 4 - Umidade relativa interna do ar no banheiro.....	32
Tabela 5 - Temperatura interna do ar no quarto frontal.....	34
Tabela 6 - Umidade relativa interna do ar no quarto frontal.....	35
Tabela 7 - Temperatura interna do ar no quarto de trás.....	37
Tabela 8 - Umidade relativa interna do ar no quarto de trás.....	39
Tabela 9 - Temperatura interna do ar na sala e cozinha.....	40
Tabela 10 - Umidade relativa interna do ar na sala e cozinha.....	42
Tabela 11 - Temperatura interna do ar no banheiro com a troca de materiais.....	48
Tabela 12 - Umidade relativa interna do ar no banheiro com a troca de materiais.....	49
Tabela 13 - Temperatura interna do ar no quarto frontal com a troca de materiais.....	50
Tabela 14 - Umidade relativa interna do ar no quarto frontal com a troca de materiais.....	51
Tabela 15 - Temperatura interna do ar no quarto traseiro com a troca de materiais.....	52
Tabela 16 - Umidade relativa interna do ar no quarto traseiro com a troca de materiais.....	53
Tabela 17 - Temperatura interna do ar na sala e cozinha com a troca de materiais.....	53
Tabela 18 - Umidade relativa interna do ar na sala e cozinha com a troca de materiais.....	54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	14
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 Estrutura do trabalho	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 Conforto Térmico e Neutralidade Térmica	16
2.2 Norma Regulamentadora sobre Climatização	17
2.3 Metodologia de Cálculo do <i>software EnergyPlus</i>	17
2.4 Revisão Bibliográfica	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1 Dados Estruturais e Térmicos	24
4.2 Criação do Modelo 3D e Definições Iniciais da Simulação	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5.1 Simulações Realizadas com os Materiais do Projeto Padrão da Casa Popular	30
5.1.1 Temperatura e Umidade Relativa Interna do Ar no Banheiro	30
5.1.2 Temperatura e Umidade Relativa Interna do Ar no Quarto Frontal.....	33
5.1.3 Temperatura e Umidade Relativa Interna do Ar no Quarto Traseiro	37
5.1.4 Temperatura e Umidade Relativa Interna do Ar na Sala e Cozinha.....	40
5.1.5 Análise da Curva de Duração da Temperatura interna e Umidade Relativa do Ar nos Cômodos.....	43
5.1.6 Conforto Térmico nos Cômodos	45
5.2 Simulações Realizadas com a Substituição de Materiais Construtivos da Casa Popular	48
5.2.1 Substituição de Materiais e Condições de Conforto Térmico - Banheiro	48

5.2.2 Substituição de Materiais e Condições de Conforto Térmico - Quarto Frontal	50
5.2.3 Substituição de Materiais e Condições de Conforto Térmico - Quarto Traseiro	51
5.2.4 Substituição de Materiais e Condições de Conforto Térmico - Sala e Cozinha.....	53
5.2.5 Análise da Curva de Duração da Temperatura e da Umidade Relativa do Ar nos Cômodos da Casa Popular com a Substituição de Materiais Construtivos	55
5.2.6 Conforto Térmico nos Cômodos com a Substituição dos Materiais Construtivos.....	56
5.3 Análise dos Resultados das Simulações com os Materiais Padrão e com os Materiais Sugeridos	59
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
6.1 Sugestões Para Trabalhos Futuros	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1. INTRODUÇÃO

O programa social Minha Casa Minha Vida é uma iniciativa do Governo Federal que tem como objetivo principal implementar políticas e programas que promovam o acesso à moradia digna para população de baixa renda, para a redução do déficit habitacional no Brasil. Fazem parte do programa instituições privadas do setor de habitação, agentes financeiros autorizados pelo Conselho Monetário Nacional, Caixa Econômica Federal, dentre outros. Através de programas como o Minha Casa Minha Vida, a população de baixa renda têm acesso a habitações com parcelas que cabem no seu orçamento (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2022).

O programa federal Minha Casa Minha Vida é um conjunto de programas como o da CDHU (Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano), administrado pelos governos estaduais, e COHAB (Companhia de Habitação Popular), de responsabilidade dos governos municipais. Esse programa, essencialmente, consiste em construções habitacionais populares na forma de casas e apartamentos. Nas casas populares os moradores têm, em regra, mais autonomia para modificar materiais e o *layout* da casa; nos apartamentos essa liberdade é menor, já que essas habitações fazem parte de um prédio, que, deve seguir padrões mais difíceis de alterar, por questões relacionadas à integridade estrutural de todo o edifício.

A Figura 1 mostra a fotografia de uma casa popular da COHAB em Benevides-PA (conjunto habitacional Juritis), que apresenta padrões estruturais semelhantes ao projeto padrão apresentado no Capítulo Materiais e Métodos na seção 4.2 (Figura 4).

Figura 1 - Casas populares no conjunto habitacional Juritis, Benevides-PA.



Fonte: Google Maps, (2023).

O foco deste trabalho é utilizar o projeto padrão da Caixa Econômica Federal e demais órgãos responsáveis para simular e analisar numericamente o desempenho térmico da casa popular quanto à temperatura interna do ar e à umidade relativa interna do ar em cada cômodo. As variáveis de saída são influenciadas por variáveis de entrada, internas (baseadas na condição estrutural da casa), e externas (baseadas na condição climática do local da casa). Os experimentos numéricos são realizados sobre dois conjuntos de materiais construtivos diferentes, para dados climáticos referentes à cidade de Belém-PA, no ano de 2022, para verificar se a casa popular obedece aos padrões de conforto térmico segundo a NBR 16401-2.

Os materiais construtivos possuem propriedades termofísicas como condutividade térmica, calor específico, densidade, entre outras, que respondem de forma diferente a determinada condição climática. Dessa forma, para determinar a resposta termoenergética da casa popular do programa Minha Casa Minha Vida estudada sob as condições climáticas de Belém-PA, o presente estudo foi realizado utilizando três ferramentas computacionais: os *softwares Energyplus, Openstudio e Sketchup*.

1.1 Justificativa

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, aprovada pela ONU no ano de 2015, estabelece um planejamento com os objetivos de proteger o planeta, promover a prosperidade, e garantir a dignidade a todas as pessoas. Estudos que analisam e propõem soluções relacionadas à destinação adequada de resíduos, à eficiência energética, e às moradias populares, se enquadram nas ações de sustentabilidade previstas na carta da ONU, e têm sido objeto de intenso e crescente número de pesquisas nos últimos anos (ONU, 2023). Este trabalho enquadra-se nessa ordem, ao analisar moradias populares sob o ponto de vista termoenergético, com a aplicação de elementos construtivos oriundos de resíduos, para assim sugerir alterações construtivas que promovam melhor conforto térmico aos usuários, com climatização passiva, ao tempo que pode minimizar os efeitos da geração de resíduos, e reduzir o consumo de energia aplicado em climatização ordinária.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Simular e analisar a resposta termoenergética, referente à temperatura interna do ar e à umidade relativa interna do ar, de uma casa do programa Minha Casa Minha Vida em Belém-

PA, no ano de 2022, com o auxílio dos *softwares Energyplus, Openstudio, e Sketchup*.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Extrair das simulações resultados referentes à temperatura e à umidade relativa em cada cômodo da casa popular, observando a variação de resultados;
- Analisar as temperaturas e as umidades relativas em cada cômodo e confrontar os dados com a norma de climatização NBR 16401-2, mostrando os períodos em horas de conforto térmico;
- Sugerir melhorias na casa popular referentes à substituição de materiais construtivos, analisando e comparando os resultados das substituições em cada cômodo com a NBR 16401-2.

1.3 Estrutura do trabalho

O trabalho está organizado em cinco capítulos.

No Capítulo 1 apresenta-se o programa Minha Casa Minha Vida, a importância do estudo de desempenho térmico estrutural em casas populares governamentais, as ferramentas computacionais utilizadas, as justificativas e os objetivos do trabalho.

O Capítulo 2 detalha a fundamentação teórica necessária para a realização do estudo, onde são abordados conceitos básicos, resultados obtidos de trabalhos científicos, e o método de cálculo do *software EnergyPlus*.

O Capítulo 3 apresenta o princípio da análise, materiais estruturais e suas propriedades termofísicas, as plantas da casa popular estudada, e detalhes da simulação numérica realizada.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados referentes à temperatura do ar e umidade relativa do ar para cada cômodo da casa popular, as análises e comparações com a norma de conforto térmico NBR 16401-2.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho, e as sugestões para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conforto Térmico e Neutralidade Térmica

O conforto térmico é um estado mental que expressa a satisfação de uma pessoa com o ambiente térmico ao seu redor. A insatisfação com o ambiente térmico pode ser causada por desconforto devido ao calor ou frio, se o equilíbrio térmico não for estável, ou seja, se existem diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor que sai do ambiente (ASHRAE, 2021).

Segundo Frota e Schiffer (2001) o corpo humano está em situação de conforto térmico quando, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo proporcional à sua atividade.

De acordo com Parsons (2014) o conforto térmico é dado pela análise de seis parâmetros básicos. Energia metabólica gerada pela atividade humana, vestuário e os quatro fatores ambientais: temperatura do ar, radiação térmica, umidade e movimento do ar. O autor ressalta, porém, que a simples quantificação destes fatores não é suficiente para determinar o quão confortável alguém está em um ambiente, uma vez que o ser humano existe em um contexto social sob a influência de diversas interações e sentimentos.

A Neutralidade térmica é um estado físico, no qual todo o calor gerado pelo organismo através do metabolismo, seja trocado em igual proporção com o ambiente ao redor, não havendo nem acúmulo de calor, nem perda excessiva do mesmo, mantendo a temperatura corporal constante (ASHRAE, 2021).

A neutralidade térmica é uma condição necessária, mas não suficiente para que uma pessoa esteja em conforto térmico. Um indivíduo que estiver exposto a um campo assimétrico de energia, pode estar em neutralidade térmica, porém não estará em conforto térmico, logo as normas regulamentadoras sugerem uma base de neutralidade térmica.

Os pesquisadores Sousa, Nobre e Andrade (2022), estudaram por meio computacional as condições climáticas para o ano de 2021, da cidade de Belém-PA. O arquivo climático disponível no repositório do *software EnergyPlus* foi compilado no *software* para gerar resultados de temperaturas médias, que são comparadas com as temperaturas da base dados *CLIMATE-DATA.ORG*. Os resultados obtidos mostraram variações de temperaturas médias, mínima e máxima de 0,1 °C até 1,7 °C.

Brisola (2022), analisou os dados históricos meteorológicos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para avaliar mudanças climáticas ocorridas na cidade de Belém-PA no período de 2011 a 2021. O estudo mostra dados climáticos da cidade

de Belém-PA resultantes da análise estatística. A radiação solar anual para o período de 2011 a 2021 variou de 1268,81 kJ/m² a 949,23 kJ/m². O comportamento da temperatura do ar de bulbo seco ao longo do período de 2011 a 2021 variou de 26,6 °C e 26,8 °C. Na umidade relativa do ar houve variação média de 80,1% a 84%, mínima de 77,7% a 80% e máxima de 82,4% a 86,9%. A rajada máxima do vento no período de 2011 a 2021 variou de 3,73 m/s a 3,55 m/s e a velocidade variando de 0,94 m/s a 0,7 m/s.

Silva (2022), realizou um estudo com duas bases de dados distintas para a realização de um tratamento estatístico sobre amostras da radiação solar e da temperatura do ar na cidade de Belém-PA comparando as bases e gerando perfis climáticos finais para cada arquivo climático. Os dados expressos no arquivo climático SWERA estão entre os anos de 1973 até 1997 e no arquivo climático IWEC os anos analisados foram de 1982 até 1995. Após o tratamento estatístico de 14 anos (1982 – 1995), gerou-se os perfis finais do arquivo climático do projeto IWEC para cada mês do ano na cidade de Belém-PA. A temperatura de bulbo seco anual apresentou média total de 26,53 °C, uma mínima de 19,91 °C e uma máxima de 35,5 °C. A temperatura de bulbo úmido apresentou um perfil anual com uma média total de 24,36 °C, uma mínima de 19,91 °C e uma máxima de 27,76 °C. A radiação solar difusa em W/m², apresentou um perfil anual com uma média total de 122,45 W/m², mínima de é 0 W/m² e uma máxima de 579,33 W/m². A radiação solar direta em W/m², apresentou um perfil anual com uma média total de 116,464 W/m² e uma máxima de 897,25 W/m².

2.2 Norma Regulamentadora sobre Climatização

A NBR 16401-2 (2008) é uma revisão que cancelou e substituiu a antiga NBR 16401-2 de 1980, focada no projeto de instalações de ar-condicionado (parte 1), nos parâmetros de conforto térmico em ambientes condicionados (parte 2) e na qualidade do ar interior (parte 3). A norma é bastante detalhada aos parâmetros de conforto térmico em espaços internos. A norma se baseia fundamentalmente no ASHRAE *Handbook Fundamentals* de 2005 (ASHRAE, 2005) e define temperaturas internas que variam de 22,5 °C a 25,5 °C (para umidade relativa de 65%), e 23,0 °C a 26,0 °C (para umidade relativa de 35%).

2.3 Metodologia de Cálculo do *software EnergyPlus*

Segundo o *Department of Energy U.S.* (2022), a base para a integração do sistema de zona e ar é formular balanços de energia e umidade para a zona de ar e assim resolve-se as

equações diferenciais ordinárias resultantes usando um preditor-corretor de aproximação. A formulação do esquema de solução começa com um balanço de calor no ar da zona, como ilustra a Equação 1:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad (1)$$

onde:

$C_z \frac{dT_z}{dt}$ = energia armazenada na zona de ar em ocorrências similares;

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$ = soma das cargas internas convectivas;

$\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ = transferência de calor por convecção das superfícies para as zonas;

$\sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$ = transferência de calor devido à mistura de ar entre zonas;

$\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$ = transferência de calor devido à infiltração de ar externo;

\dot{Q}_{sys} = sistemas de saída de ar;

$C_z = \rho_{air} C_p C_t$;

ρ_{air} = densidade do ar na zona;

C_p = calor específico do ar na zona;

C_t = multiplicador de capacidade de calor sensível.

Os sistemas de ar fornecem ar quente ou frio às zonas para atender às cargas de aquecimento ou resfriamento. O sistema a energia fornecida à zona, \dot{Q}_{sys} , pode assim ser formulada a partir da diferença entre o fornecimento entalpia do ar e a entalpia do ar saindo da zona conforme mostrado na Equação 3 (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022):

$$-\dot{Q}_{sys} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{sys} = \dot{m}_{sys} C_p (T_{sup} - T_z) \quad (3)$$

Esta equação assume que a taxa de fluxo de massa de ar de suprimento de zona é exatamente igual à soma das taxas de fluxo de ar saindo da zona através do ar de retorno do sistema e saindo diretamente da zona. Ambos os fluxos de ar saem da zona na temperatura média do ar da zona, como pode-se ver na Equação 4 (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022):

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_P (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_P (T_{\infty} - T_z) + \dot{m}_{sys} C_P (T_{sup} - T_z) \quad (4)$$

A soma das cargas da zona e da saída do sistema de ar agora é igual à mudança na energia armazenada na zona. Tipicamente, a capacitância C_z seria apenas aquela do ar da zona. No entanto, as massas térmicas consideradas equilibradas com o ar da zona podem ser incluídas neste termo (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022):

O *EnergyPlus* fornece três algoritmos de solução diferentes para resolver a energia e a umidade do ar da zona. Estes são definidos no campo *Algorithm* no *Zone Air Heat Balance Algorithm*, eles são: *3rd Order Backward Difference*, *Euler Method* e *Analytical Solution*. Os dois primeiros métodos para resolver a Equação 4, usam-se a aproximação por diferenças finitas, enquanto a terceira usa uma aproximação analítica (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022).

Para calcular o termo derivado em relação ao tempo, aplica-se uma aproximação baseada em diferenças finitas segundo a relação (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022):

$$\frac{dT_z}{dt} = (\delta t)^{-1} (T_z^t - T_z^{t-\delta t}) + O(\delta t^3) \quad (5)$$

O uso de integração numérica em uma simulação de longo prazo é motivo de certa preocupação devido ao acúmulo potencial de erro de truncamento ao longo de muitas etapas de tempo. Neste caso, a diferença finita de aproximação é de baixa ordem, o que agrava ainda mais o problema. No entanto, a natureza cíclica das simulações deve causar erros de truncamento para cancelar ao longo de cada ciclo diário para que nenhum acúmulo líquido de erro ocorra, mesmo durante muitos dias de simulação (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022).

A método de Euler, Equação 5, foi empregado na Equação 4 para substituir o termo derivado, todos os termos contendo a temperatura média do ar da zona foram então agrupados no lado esquerdo da equação. Como os termos restantes não são conhecidos no momento atual, eles foram defasados em um intervalo de tempo e coletados no lado direito. Essa manipulação resultou na Equação 6, que é a fórmula para atualização da temperatura média do ar da zona (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022):

$$C_z \frac{T_z^t - T_z^{t-\delta t}}{dt} + T_z^t \left(\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_P + \dot{m}_{inf} C_P + \dot{m}_{sys} C_P \right) = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \dot{m}_{sys} C_P T_{supply}^t +$$

$$\left(\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_P T_{zi} + \dot{m}_{inf} C_P T_{\infty} \right)^{t-\delta t} \quad (6)$$

Um rearranjo final foi mover a temperatura defasada na aproximação derivada para o lado direito da equação. O aparecimento explícito da temperatura do ar da zona foi assim eliminado de um lado da equação. Uma equação de balanço de energia que inclui os efeitos da capacitância da zona foi então obtida dividindo ambos os lados pelo coeficiente de T_z (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022):

$$T_z^t = \frac{\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \dot{m}_{sys} C_P T_{supply}^t + \left(C_z \frac{T_z}{\delta t} + \sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_P T_{zi} + \dot{m}_{inf} C_P T_{\infty} \right)^{t-\delta t}}{\frac{C_z}{\delta t} + \left(\sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_P + \dot{m}_{inf} C_P + \dot{m}_{sys} C_P \right)} \quad (7)$$

A Equação 7 pode ser usada para estimar as temperaturas do ar da zona e é definida como o método de Euler, um dos três algoritmos de solução fornecidos no objeto *Zone Air Heat Balance Algorithm*. No entanto, pode limitar o tamanho do passo de tempo sob algumas condições. Para melhorar isso, maiores expressões de ordem para a primeira derivada, com correspondentes erros de truncamento de ordem superior, foram desenvolvidas. O objetivo dessa abordagem é permitir o uso de etapas de tempo maiores na simulação do que seria possível usando a fórmula de Euler de primeira ordem, sem experimentar instabilidades (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022). Aproximações de segunda a quinta ordem foram tentadas conforme relatado por Taylor, *et al.* (1990) com a conclusão de que a aproximação de terceira ordem, deu os melhores resultados como pode-se ver na Equação 8:

$$\left. \frac{dT_z}{dt} \right|_t \approx (\delta t)^{-1} \left(\frac{11}{6} T_z^t - 3T_z^{t-\delta t} + \frac{3}{2} T_z^{t-2\delta t} - \frac{1}{3} T_z^{t-3\delta t} \right) + O(\delta t^3) \quad (8)$$

Quando esta forma para a derivada é usada, a Equação 6 assume a forma da Equação 9:

$$C_z (\delta t)^{-1} \left(\frac{11}{6} T_z^t - 3T_z^{t-\delta t} + \frac{3}{2} T_z^{t-2\delta t} - \frac{1}{3} T_z^{t-3\delta t} \right) = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_P (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_P (T_{\infty} - T_z) + \dot{m}_{sys} C_P (T_{sup} - T_z) \quad (9)$$

E a equação de atualização da temperatura da zona (Equação 7) torna-se a Equação 10:

$$T_z^t = \frac{\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_p T_{zi} + \dot{m}_{inf} C_p T_{\infty} + \dot{m}_{sys} C_p T_{supply} - \left(\frac{C_z}{\delta t}\right) \left(-3T_z^{t-\delta t} + \frac{3}{2}T_z^{t-2\delta t} - \frac{1}{3}T_z^{t-3\delta t}\right)}{\left(\frac{11}{6}\right)\frac{C_z}{\delta t} + \sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_p + \dot{m}_{inf} C_p + \dot{m}_{sys} C_p} \quad (10)$$

Este é o formulário usado historicamente no *EnergyPlus* e é o padrão atual referido como *3rd Order Backward Difference* no objeto *Zone Air Heat Balance Algorithm*. Este algoritmo requer zona de ar temperaturas em três intervalos de tempo anteriores e usa coeficientes de temperatura constantes. A suposição é que três comprimentos de passos de tempo anteriores são os mesmos (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022).

O algoritmo *Analytical Solution* é uma abordagem de integração. Enquanto a diferença finita de 3ª ordem de aproximação fornece estabilidade sem exigir um passo de tempo proibitivamente pequeno, o método ainda tem erros de truncamento e requer um intervalo de tempo fixo para os três tempos de simulação anteriores aos degraus. Portanto, diferentes comprimentos de passo de tempo para os três passos de tempo de simulação anteriores podem fazer os coeficientes de temperatura serem inválidos (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022).

O algoritmo *Analytical Solution* fornece uma maneira possível de obter soluções sem erros de truncamento e independente do comprimento do passo de tempo. Além disso, o algoritmo requer apenas a zona de ar temperatura para uma etapa de tempo anterior, em vez de três etapas de tempo anteriores conforme exigido pelo Algoritmo *3rd Order Backward Difference*. A solução integrada (analítica) para a Equação 10 pode ser expressa da seguinte forma na Equação 11 (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022):

$$T_z^t = \left(T_z^{t-\delta t} - \frac{\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_p T_{zi} + \dot{m}_{inf} C_p T_{\infty} + \dot{m}_{sys} C_p T_{sup}}{\sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_p + \dot{m}_{inf} C_p + \dot{m}_{sys} C_p} \right) * \exp \left(- \frac{\sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_p + \dot{m}_{inf} C_p + \dot{m}_{sys} C_p}{C_z} \delta t \right) + \frac{\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_p T_{zi} + \dot{m}_{inf} C_p T_{\infty} + \dot{m}_{sys} C_p T_{sup}}{\sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_p + \dot{m}_{inf} C_p + \dot{m}_{sys} C_p} \quad (11)$$

2.4 Revisão Bibliográfica

Borges (2022), realizou um estudo cujo objetivo foi fazer simulações numéricas das propriedades térmicas de edifícios para analisar a temperatura interna do ar de um edifício com materiais de construção alternativos. Foram incluídas propriedades construtivas, como peças estruturais e suas propriedades térmicas. O arquivo climático utilizado foi o da cidade de Belém-PA fornecido pelo projeto SWERA. As ferramentas utilizadas nesta simulação foram os *softwares SketchUp Make 2017, OpenStudio e EnergyPlus*. Com a simulação numérica foi possível analisar variáveis climáticas do próprio arquivo climático como bulbo seco e úmido e radiações solares, juntamente aos resultados gerados pelo *EnergyPlus* mostrando as temperaturas internas na estrutura estudada como média, mínima, máxima e desvio padrão, em seguida, são feitas comparações do mês mais frio e o mês mais quente e a curva de duração anual da temperatura interna do ar que mostra a média da temperatura do ar na edificação em relação às horas totais do ano de 2021. A edificação apresenta anualmente uma temperatura interna do ar com uma máxima de 34,08 °C, mínima de 24,43 °C, média anual de 28,5 °C, e um desvio padrão de 2 °C.

Gomes (2022), realizou uma pesquisa que visa comparar diferentes materiais utilizados em construções habitacionais, as comparações feitas levam em consideração materiais tradicionais e alternativos. A fim de encontrar o material com um melhor isolamento térmico para o clima da cidade de Belém-PA é feita a análise comparativa. A análise comparativa entre os materiais tradicionais e alternativos se dá pela temperatura interna do ar em °C com base nessa temperatura pode-se analisar o isolamento térmico de cada combinação de materiais. Os resultados mostraram que a média anual da temperatura do ar com materiais tradicionais é de 27 °C com uma curva de duração que vai de 23,4 °C a 30,9 °C durante 8.760 h do ano. Para os materiais alternativos apresentaram uma média anual de 25,9 °C com uma curva de duração entre 22,9 °C a 29,19 °C durante 8.760 h do ano. Os materiais alternativos apresentaram menores temperaturas do ar na estrutura analisada.

Nobre *et al.* (2022), realizaram uma simulação numérica em uma residência conjunta popularmente conhecida como vila ou *kitnet* no mês de março em Ananindeua-PA utilizando o *software EnergyPlus*, onde foram levadas em consideração variáveis climáticas e do próprio edifício. Com isso, gerou-se uma zona térmica com temperaturas de 21 °C até 29 °C no mês de março e com estes dados averiguou-se que os cômodos do edifício cumpriam os padrões da ISO 9241/2011 sobre bem-estar térmico. Os dias do mês de março dentro dos padrões térmicos

de conforto foram os dias 05, 11 e 12 para a Unidade 1, 04 e 18 para a Unidade 2, 04 e 18 para a Unidade 3 e 04, 05, 12 e 18 para a Unidade 4.

Siqueira (2022), realizou um trabalho cujo objetivo é encontrar a temperatura interna do ar em uma edificação idealizada em Belém-PA e Florianópolis-SC no ano de 2021, verificando como uma estrutura com os mesmos materiais se comporta em situações climáticas diferentes. Os resultados mostram que a temperatura na cidade de Belém-PA no edifício vai de 22,8 °C até 31,6 °C; na cidade de Florianópolis-SC a temperatura interna do ar no edifício vai de 14,6 °C a 31,2 °C.

Nobre (2022), realizou uma monografia que tem por finalidade utilizar o *software* livre *EnergyPlus* para simular e analisar o nível de temperatura do ar no auditório do campus Ananindeua da Universidade Federal do Pará, localizado em Ananindeua-PA que está em fase de construção, com variáveis meteorológicas, estruturais e fisiológicas. A análise de desempenho térmico do auditório foi realizada no ano de 2021, para zonas térmicas de cada mês do ano, verificando e indicando a época do ano com maiores e menores temperaturas do ar no ambiente, utilizando como base de dados arquivos climáticos de Belém-PA. Os resultados obtidos para o desempenho térmico estrutural, no ano analisado, foram retirados de duas simulações com o *software*, a primeira simulação adotou-se somente variáveis meteorológicas e estruturais, na segunda adotou-se variáveis meteorológicas, estruturais e fisiológicas, verificando a variação da temperatura no auditório com a quantidade máxima de pessoas no local, e por fim realizou-se análises de bem-estar térmico do ambiente com a ISO 9241/2011.

Sousa (2022), realizou simulações computacionais para análise do desempenho térmico em um edifício institucional da Universidade Federal do Pará, localizado no município de Ananindeua-PA, planejando demonstrar a capacidade do método abordado, utilizando o *software Energyplus*. Em relação ao edifício foram determinadas diversas características, entre elas, elementos construtivos e suas propriedades térmicas, perfil de atividades, consumo por unidade dos equipamentos elétricos e sistema de iluminação. Para analisar o desempenho térmico estrutural, conforto térmico e o consumo energético do edifício. Os resultados obtidos para o desempenho térmico foram que os ambientes simulados pelo programa apresentaram temperaturas entre 23,7 °C e 33,3 °C, com estes dados foi possível verificar a quantidade de horas e representatividade (%) anual em que os ambientes estão dentro dos padrões estabelecidos pela ISO 9241/2011 e da NR 17.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento numérico tem como base as plantas do projeto da casa popular fornecida pela Caixa Econômica Federal, e é realizado na cidade de Belém-PA, sobre arquivos climáticos, compilados no ano de 2022, do projeto *International Weather for Energy Calculations* (IWEC) criado pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) é disponibilizado na página da internet do *EnergyPlus*. Serão realizadas duas simulações, uma seguindo rigorosamente os materiais e dimensões do projeto original, e a outra substituindo os materiais construtivos que tem maior condutividade térmica, o bloco de concreto das paredes (por tijolo cerâmico) e a janela de alumínio (por janelas de madeira), visando alcançar melhorias no conforto térmico.

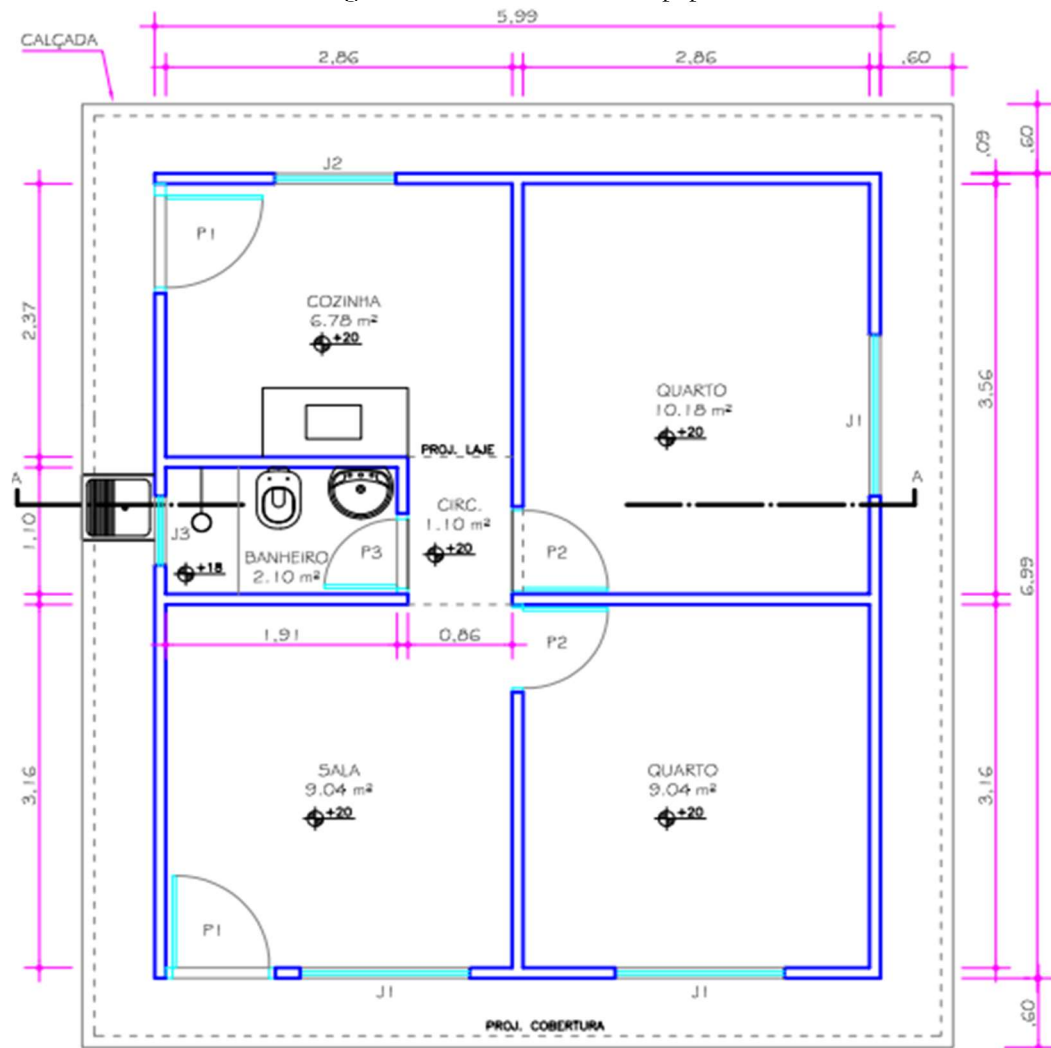
Foram usados três *softwares* neste trabalho: O *Energyplus*, que resolve as equações de balanço térmico para a edificação simulada, e gera os resultados da temperatura interna do ar e umidade relativa do ar; o *Sketchup*, no qual o desenho arquitetônico do edifício é desenvolvido; e o *Openstudio*, que interliga o *Sketchup* ao *Energyplus*, e que oferece uma interface mais dinâmica para a entrada e saída de dados, otimizando o estudo. O método matemático escolhido dentro do *software Energyplus* foi o de aproximação de diferenças finitas de terceira ordem (*3rd Order Backward Difference*).

4.1 Dados Estruturais e Térmicos

A Caixa Econômica Federal apresenta este material a título de sugestão. Como cada edificação a ser construída a partir deste material atenderá a realidades distintas, quando a Administração Pública optar por utilizar esta planta baixa, a proposta deverá ser revisada e ajustada por um profissional habilitado que deverá revisar o sistema estrutural a ser utilizado e as partes complementares necessárias à implantação das edificações, como muros de arrimo e ou terraplanagem.

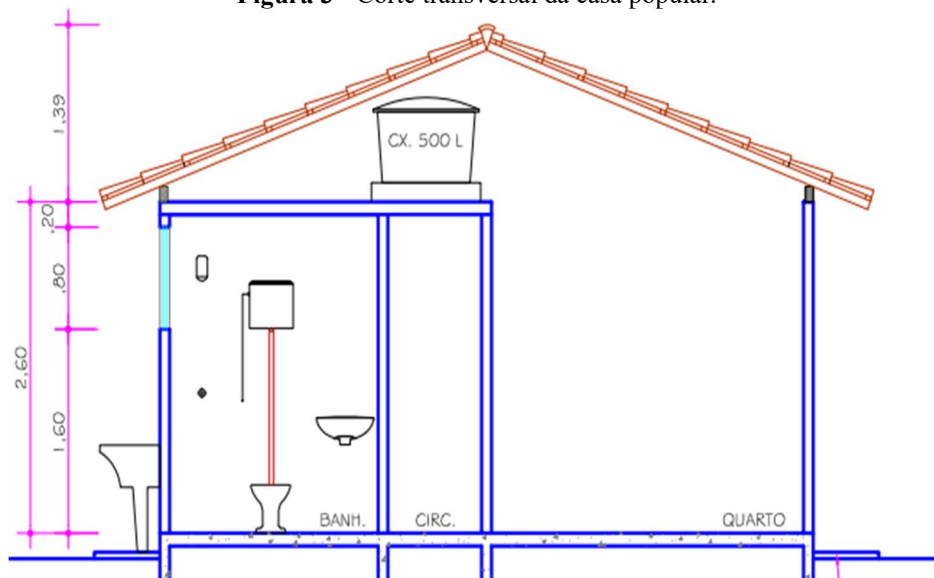
Abaixo encontra-se a planta baixa com suas dimensões métricas em metros (Figura 2 e 3), a perspectiva da casa popular (Figura 4), os materiais e suas dimensões (Tabela 1), os dados térmicos dos materiais construtivos (Tabela 2) e algumas informações construtivas fornecidas pelo programa governamental e pela Caixa Econômica Federal.

Figura 2 - Planta baixa da casa popular.

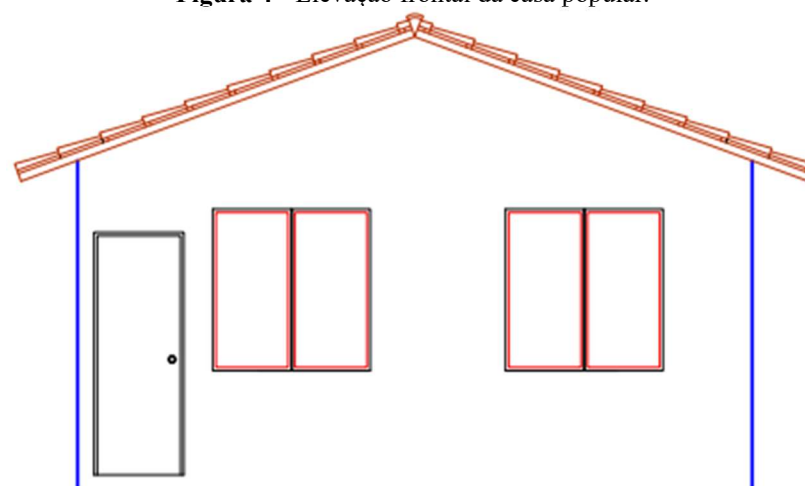


Fonte: Caixa Econômica Federal, (2007).

Figura 3 - Corte transversal da casa popular.



Fonte: Caixa Econômica Federal, (2007).

Figura 4 - Elevação frontal da casa popular.

Fonte: Caixa Econômica Federal, (2007).

Tabela 1 – Materiais construtivos da casa popular.

PISO
<p>Lastro de Concreto –lastro de concreto para contrapiso, FCK 10 Mpa, na espessura de 6cm; Piso cimentado com 2,5 cm de espessura, executado em argamassa de cimento e areia; Piso cerâmico esmaltado, linha popular 33x33cm PEI 3.</p>
COBERTURA
<p>Telhas cerâmicas tipo PLAN, sobre estrutura de madeira de lei.</p>
ALVENARIA
<p>Painéis de blocos de concreto (9x19x39cm), assentados com argamassa de cimento, cal e areia 1:0,5:8.</p>
REVESTIMENTOS
<p>Chapisco com argamassa de cimento e areia espessura de 0,5 cm e reboco tipo paulista com argamassa de cimento, cal e areia, espessura de 2,0 cm nas paredes internas, externas e no teto da laje do banheiro.</p> <p>Pintura Látex PVA, 2 demãos, sobre uma camada de selador nas paredes internas e teto da laje do banheiro, pintura Látex acrílica em duas demãos sobre uma camada de selador para as paredes externas.</p>
PORTAS E ESQUADRIAS
<p>Portas de madeira de lei P1 (0,8 x 2,1 m), P2 (0,7 x 2,1 m) e P3 (0,6 x 2,1 m) Janelas de alumínio, J1 (1,4 x 1,4 m), J2 (1 x 1,2 m) e J3 (0,6 x 0,8 m) Vidro fantasia canelado 4mm.</p>

Fonte: Caixa Econômica Federal, (2007).

Na Tabela 2 mostram-se alguns dados térmicos dos materiais construtivos da casa popular devido a planta baixa não informar a espessura de alguns objetos estruturais, nesse caso, utiliza-se a espessura padrão convencional. Os objetos que assumiram espessuras padrões são: porta de madeira, estrutura de madeira de lei na cobertura, janelas, telha cerâmica e tinta acrílica.

Tabela 2 – Propriedades térmicas dos materiais.

Tipo de Material	Espessura (m)	Condutividade Térmica (W/mK)	Densidade Equivalente (Kg/m³)	Calor Específico (J/KgK)
Vidro	0,004	1,0	2500	840
Argamassa de assentamento	0,025	1,15	1600	1000
Reboco de argamassa	0,025	1,15	1800	1000
Laje de concreto	0,06	1,75	2200	1000
Telha cerâmica	0,02	0,7	1000	920
Textura acrílica	0,001	0,4	1300	1000
Madeira para cobertura	0,01	0,29	1000	1340
Porta de madeira	0,035	0,29	1000	1340
Bloco de concreto	0,09	1,75	2200	1000
Piso cerâmico	0,01	0,90	1600	920
Janelas de Alumínio	0,02	230	2700	880
Tijolo cerâmico	0,09	0,90	1300	920
Janela de madeira	0,02	0,29	1000	1340

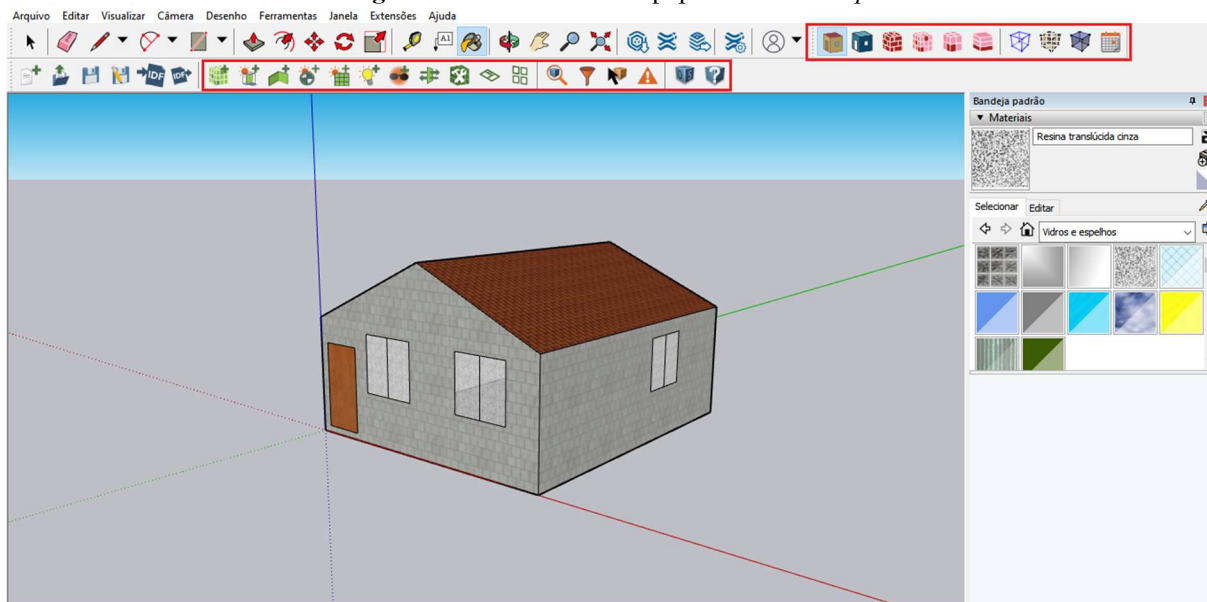
Fonte: Projeto 02:135.07-001/2. Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

4.2 Criação do Modelo 3D e Definições Iniciais da Simulação

Abaixo é expresso o processo básico da simulação e as funcionalidades de cada aba no *Openstudio*.

Na Figura 5 mostra-se a casa popular desenhada no *Sketchup* conforme os parâmetros definidos pelo programa Minha Casa Minha Vida. Observa-se também na figura, botões adicionais (destacados em moldura na cor vermelha) referentes a *plugins* externos, que vinculam o *Sketchup* ao *Openstudio*, permitindo a introdução de ferramentas adicionais no *Sketchup*, o *plugin* utilizado nesta simulação é o *Euclid*, que facilita a criação e modificação das entradas de geometria para a construção de modelos de energia. Essas ferramentas permitem definir padrões iniciais para o edifício, como atributos, zonas térmicas adicionais, no caso de análises sobre cômodos separados, entre outras funcionalidades. Com o desenho arquitetônico realizado e padrões básicos definidos, transfere-se o mesmo para o *Openstudio* para o seguimento da simulação.

Figura 5 - Desenho da casa popular no *Sketchup*.



Fonte: Autor, (2023).

A usabilidade da interface do *EnergyPlus* é difícil de ser manipulada, e por conta disso vincula-se a ele o *software Openstudio*, para facilitar a operação de suas funcionalidades e para atuar como um gerenciador entre ele e o *Sketchup*.

Na aba *site* do *Openstudio* adiciona-se o arquivo climático no formato IWEC, onde estão contidas as informações climáticas da cidade. Na mesma aba definem-se as datas de análise, como ano, meses e dias. No caso, o ano definido foi o ano de 2022, com todos seus meses e dias.

Uma das principais abas do *Openstudio* é a aba *constructions*, onde adicionam-se dados referentes aos materiais construtivos da edificação, dados relacionados ao tipo de material, suas características térmicas e métricas, para então configurar itens específicos do edifício, como paredes, piso e telhado, e qual destes itens está em contato com determinado espaço do ambiente, o que permite montar o padrão construtivo da edificação de acordo com suas características.

Na aba *geometry*, pode-se visualizar o desenho arquitetônico feito no *Sketchup*, que ilustra as zonas térmicas selecionadas em cada cômodo, assim como quais partes estão em contato com o solo, com radiações solares, com a ventilação do ambiente, além de ter uma visão ampla da estrutura.

A aba *facility* tem como principal função facilitar o entendimento do *Openstudio* em relação às características do ambiente como um todo, onde insere-se o padrão construtivo aplicado na aba *constructions*, entre outras funcionalidades.

Na aba *spaces* inserem-se os arquivos padrão de cada local criado e especificado. Nessa aba também é possível modificar áreas de contatos que podem estar incorretas, entre outras funcionalidades.

Na aba *Thermal zones* inserem-se padrões que podem estar presente na estrutura como infiltrações, aquecimento, resfriamento, entre outros, por meio de arquivos padronizados dentro do próprio *Openstudio* ou modelos criados no *software*.

Na aba *output variables*, selecionam-se as variáveis de saída, de um leque de opções onde estão pré-selecionadas variáveis sugeridas pelo próprio *software*. Neste trabalho, foram selecionadas variáveis de saída, a temperatura interna do ar (*zone air temperature*) e a umidade relativa interna do ar (*zone air relative humidity*) da edificação estudada.

Nas abas *run simulation* e *results summary* inicia-se a simulação e mostram-se os resultados que foram convertidos em tabelas e figuras.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Simulações Realizadas com os Materiais do Projeto Padrão da Casa Popular

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos que são referentes a temperatura interna do ar e umidade relativa interna anual e mensal em cada cômodo, com isso é gerado a curva de duração de conforto térmico para cada cômodo.

Das Tabelas 3 a 18 além de dados anuais e mensais também são mostrados dados diários dos meses com maiores e menores temperaturas e umidades em cada cômodo no edifício, onde os meses são padronizados em 28 dias corridos.

5.1.1 Temperatura e Umidade Relativa Interna do Ar no Banheiro

Nota-se na Tabela 3 uma temperatura interna do ar com uma média anual de 28,02 °C, mínima de 23,43 °C, máxima de 32,89 °C e um desvio padrão de 1,60 °C. O mês com a maior temperatura no banheiro foi o de maio e o mês com a menor temperatura foi o de janeiro.

Na Figura 6 mostra-se o mês com a maior média da temperatura interna do ar no banheiro, que é o mês de dezembro apresentando uma temperatura mínima de 25,56 °C, máxima de 32,06 °C, uma média mensal de 28,65 °C e um desvio padrão de 1,60 °C.

Na Figura 7 mostra-se o mês de março com a menor média da temperatura interna do ar no banheiro, resultando em uma temperatura mínima de 23,68 °C, máxima de 29,83 °C, uma média mensal de 26,88 °C e um desvio padrão de 1,39 °C.

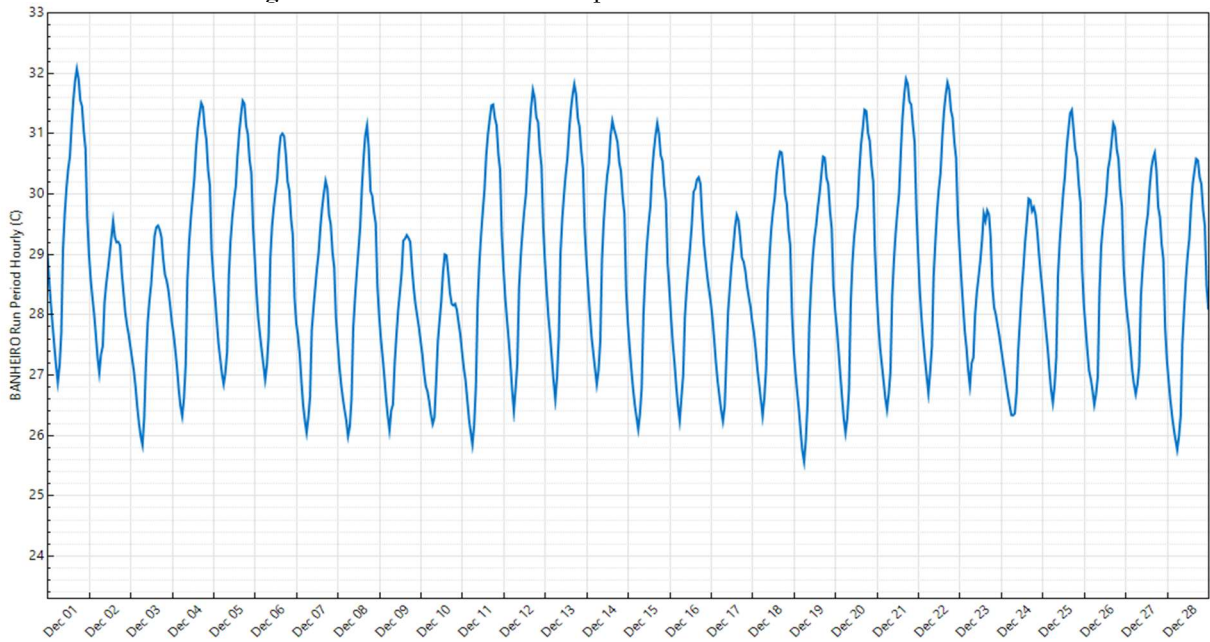
Tabela 3 - Temperatura interna do ar no banheiro.

Temperatura/Mês	Média °C	Mínima °C	Máxima °C	Desvio Padrão °C
Jan	27,2841	23,4350	30,9046	1,5864
Fev	27,1700	24,3824	30,1781	1,4065
Mar	26,8898	23,6851	29,8391	1,3981
Abr	27,5253	24,5853	30,9401	1,4012
Mai	28,3813	24,8445	32,8990	1,7317
Jun	28,1959	24,2921	31,6935	1,7485
Jul	28,5786	24,4194	32,2475	1,6776
Ago	28,6481	25,2127	32,2176	1,6970
Set	27,8201	24,4904	31,0161	1,5542

Out	28,5169	25,1488	31,6216	1,6642
Nov	28,6044	25,1122	31,6925	1,6332
Dez	28,6544	25,5601	32,0651	1,6005
Total	28,0291	23,4350	32,8990	1,6000

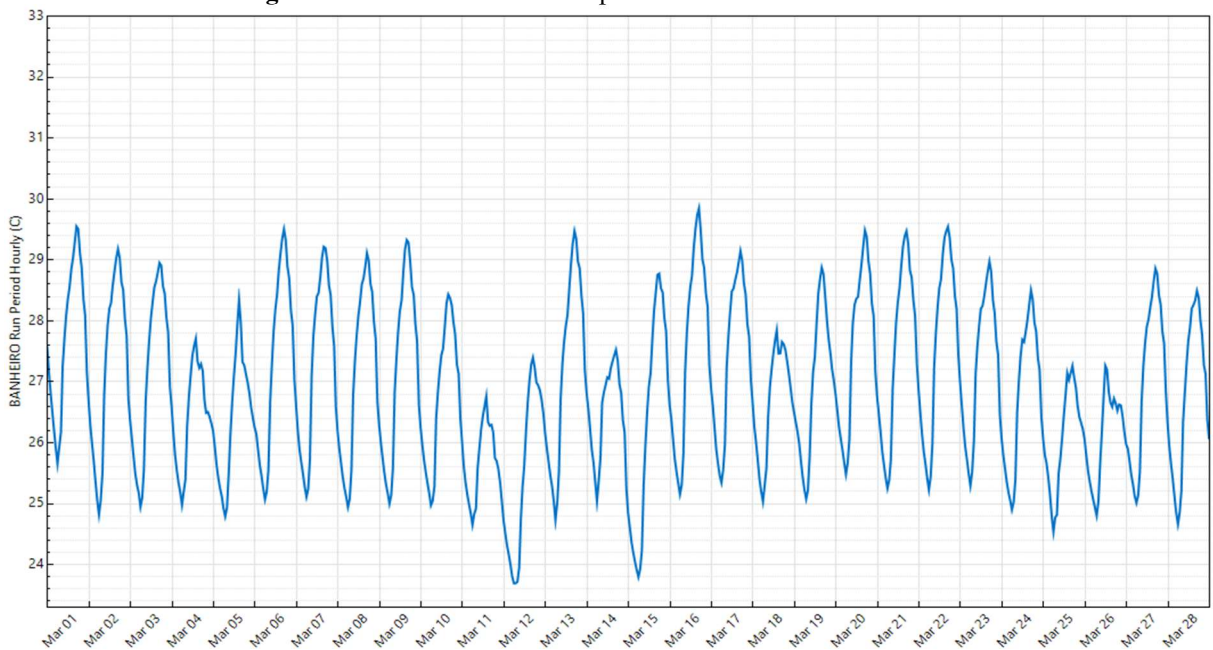
Fonte: Autor, (2023).

Figura 6 - Mês com a maior temperatura média interna no banheiro.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 7 - Mês com a menor temperatura média interna no banheiro.



Fonte: Autor, (2023).

Na Tabela 4 tem-se a umidade relativa média anual de 79,71%, mínima de 55,51%,

máxima de 99,37% e um desvio padrão de 4,63%. O mês com a maior umidade relativa interna do ar dentro do banheiro foi o de março e o mês com a menor umidade foi o de julho.

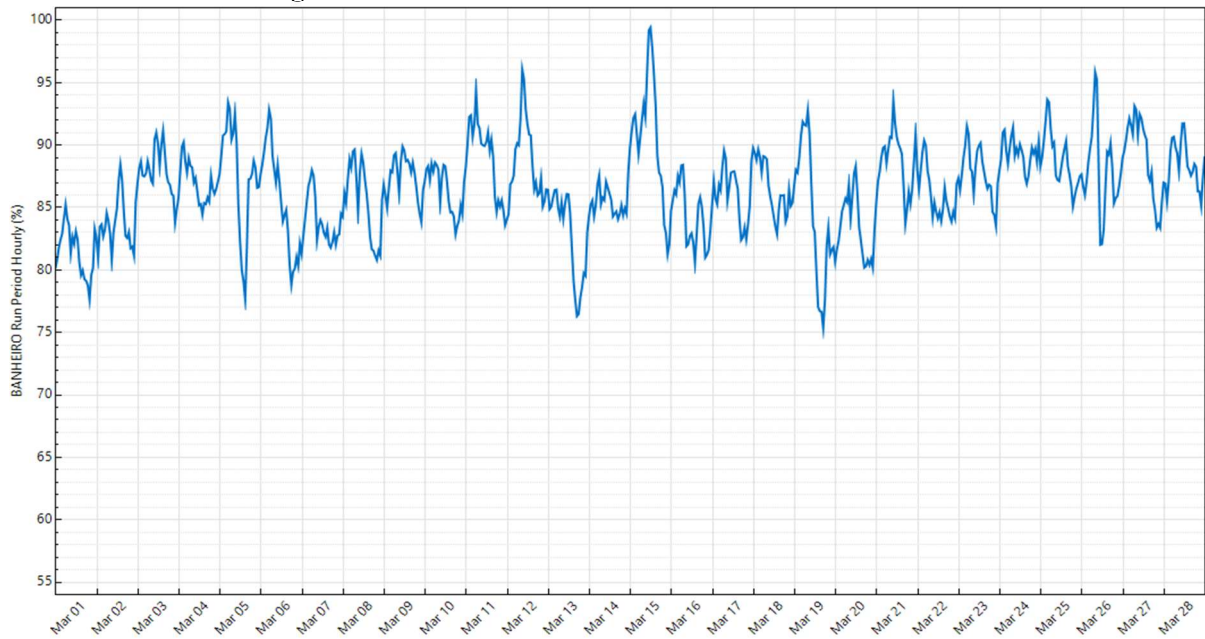
Na Figura 8 mostra-se o mês com a maior média mensal de umidade relativa do ar dentro do banheiro, que é o mês de março, com uma umidade mínima de 75,30%, máxima de 99,37%, média de 86,65% e um desvio padrão de 3,56%.

Na Figura 9 mostra-se o mês com a menor média mensal de umidade relativa do ar dentro do banheiro, que é o mês de julho, com uma umidade mínima de 55,51%, máxima de 85,76%, média de 74,38% e um desvio padrão de 5,33%.

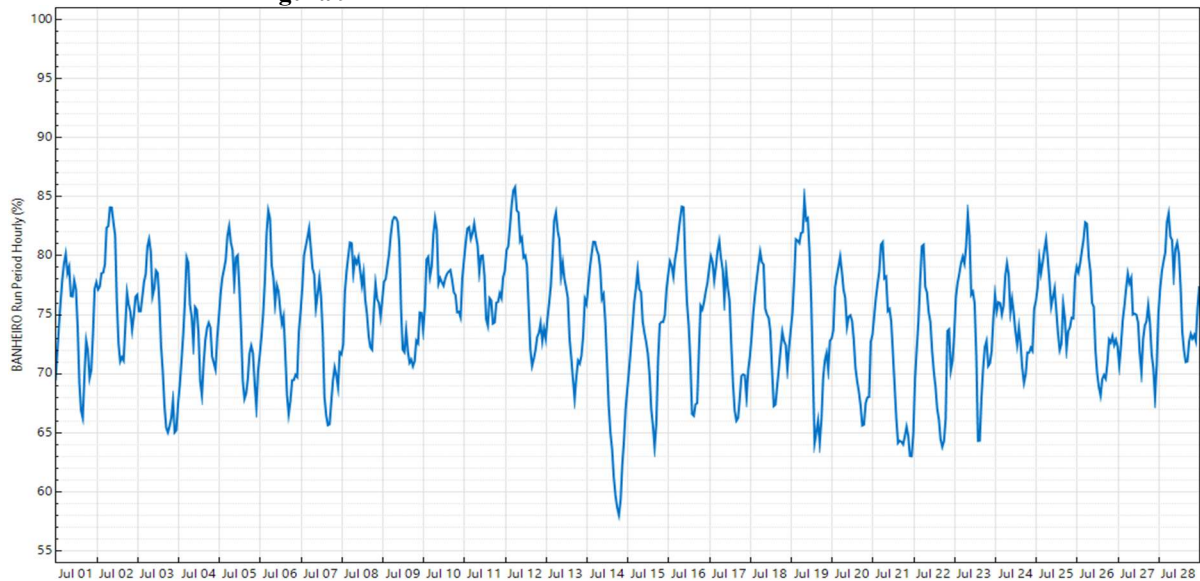
Tabela 4 - Umidade relativa interna do ar no banheiro.

Umidade/Mês	Média %	Mínima %	Máxima %	Desvio Padrão %
Jan	84,5856	72,3631	96,2618	4,1003
Fev	84,0018	73,5575	94,0072	4,3071
Mar	86,6534	75,3043	99,3773	3,5645
Abr	84,3339	65,8329	95,7686	4,2822
Mai	79,7549	59,8821	91,6843	5,5067
Jun	77,9148	62,9425	92,5126	5,5999
Jul	74,3868	55,5155	85,7677	5,3330
Ago	74,7905	57,6600	87,5611	5,0444
Set	79,4338	68,5988	89,9030	3,8691
Out	76,7553	59,8063	90,6968	4,7552
Nov	76,9710	59,8117	87,8986	4,5541
Dez	77,4485	65,4482	87,1237	4,6439
Total	79,7183	55,5155	99,3773	4,6300

Fonte: Autor, (2023).

Figura 8 - Mês com a maior umidade média interna no banheiro.

Fonte: Autor, (2023).

Figura 9 - Mês com a menor umidade média interna no banheiro.

Fonte: Autor, (2023).

5.1.2 Temperatura e Umidade Relativa Interna do Ar no Quarto Frontal

Nota-se na Tabela 5 uma temperatura média anual de 27,25 °C, mínima de 22,69 °C, máxima de 32,64 °C e um desvio padrão de 1,99 °C. O mês com a maior temperatura no quarto frontal foi o de maio e o mês com a menor temperatura foi o de janeiro.

Na Figura 10 mostra-se o mês com a maior média da temperatura interna do ar no quarto frontal, que é o mês de agosto apresentando uma temperatura mínima de 24,25 °C, máxima de 32,25 °C, uma média mensal de 27,95 °C e um desvio padrão de 2,07 °C.

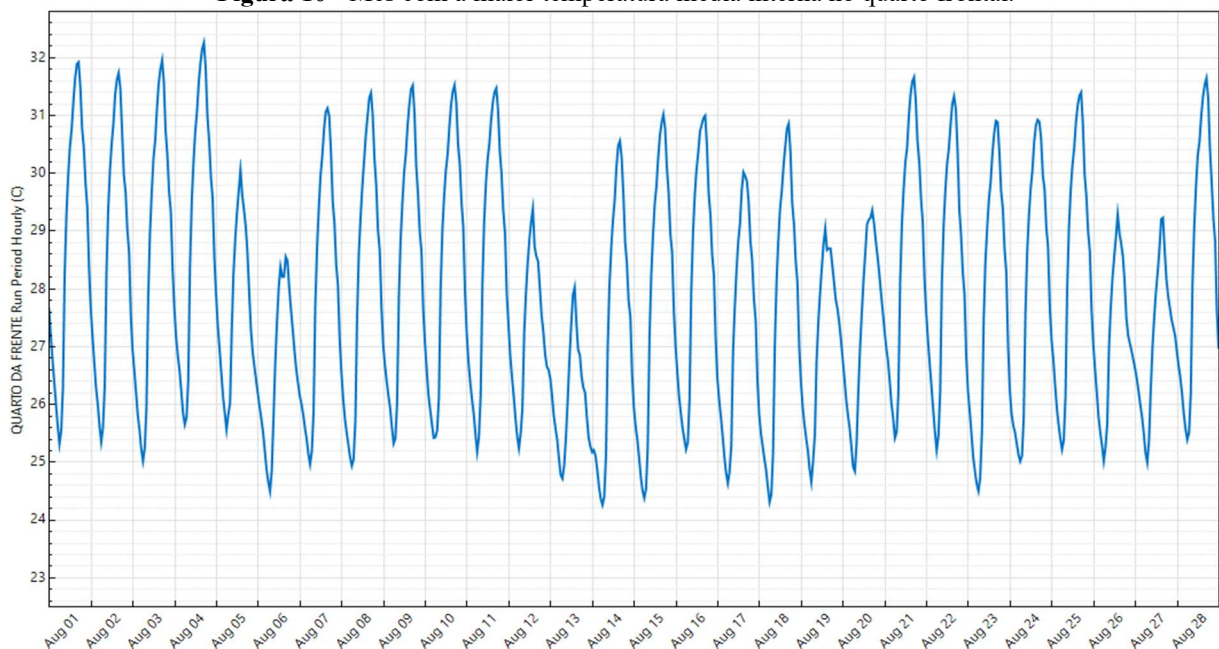
Na Figura 11 mostra-se o mês de março com a menor média da temperatura interna do ar no quarto frontal, resultando em uma temperatura mínima de 22,93 °C, máxima de 29,89 °C, uma média mensal de 26,36 °C e um desvio padrão de 1,73 °C.

Tabela 5 - Temperatura interna do ar no quarto frontal.

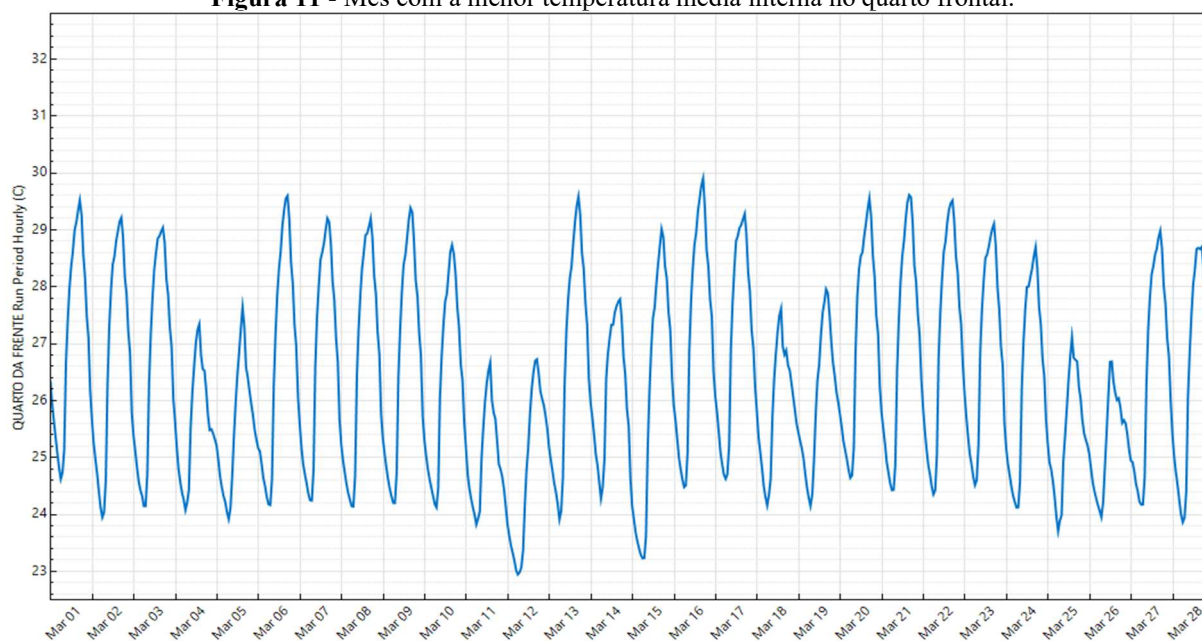
Temperatura/Mês	Média °C	Mínima °C	Máxima °C	Desvio Padrão °C
Jan	26,4993	22,6934	30,3406	1,8124
Fev	26,4532	23,4316	29,9455	1,7243
Mar	26,3653	22,9361	29,8953	1,7391
Abr	26,8366	23,7119	30,7996	1,7514
Mai	27,6023	23,8868	32,6417	2,1045
Jun	27,5101	23,4484	31,8877	2,1952
Jul	27,8234	23,5067	32,4282	2,1091
Ago	27,9571	24,2545	32,2500	2,0786
Set	27,2076	23,5399	30,9604	1,8640
Out	27,6597	24,2323	31,2583	1,9218
Nov	27,5241	23,8830	31,1116	1,8729
Dez	27,4900	24,3761	31,2911	1,8090
Total	27,2500	22,6934	32,6417	1,9970

Fonte: Autor, (2023).

Figura 10 - Mês com a maior temperatura média interna no quarto frontal.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 11 - Mês com a menor temperatura média interna no quarto frontal.

Fonte: Autor, (2023).

Na Tabela 6 tem-se uma umidade relativa média anual de 85,49%, mínima de 58,07%, máxima de 99,99 % e um desvio padrão de 5,96%. O mês com a maior umidade relativa dentro do quarto frontal foi o de abril e o mês com a menor umidade relativa foi o de julho.

Na Figura 12 mostra-se o mês com a maior média mensal de umidade relativa do ar dentro do quarto frontal, que é o mês de março, com uma umidade mínima de 79,60%, máxima de 99,53%, média de 91,45% e um desvio padrão de 3,31%.

Na Figura 13 mostra-se o mês com a menor média mensal de umidade relativa do ar dentro do quarto frontal, que é o mês de julho, com uma umidade mínima de 58,07%, máxima de 90,78%, média de 79,86% e um desvio padrão de 5,55%.

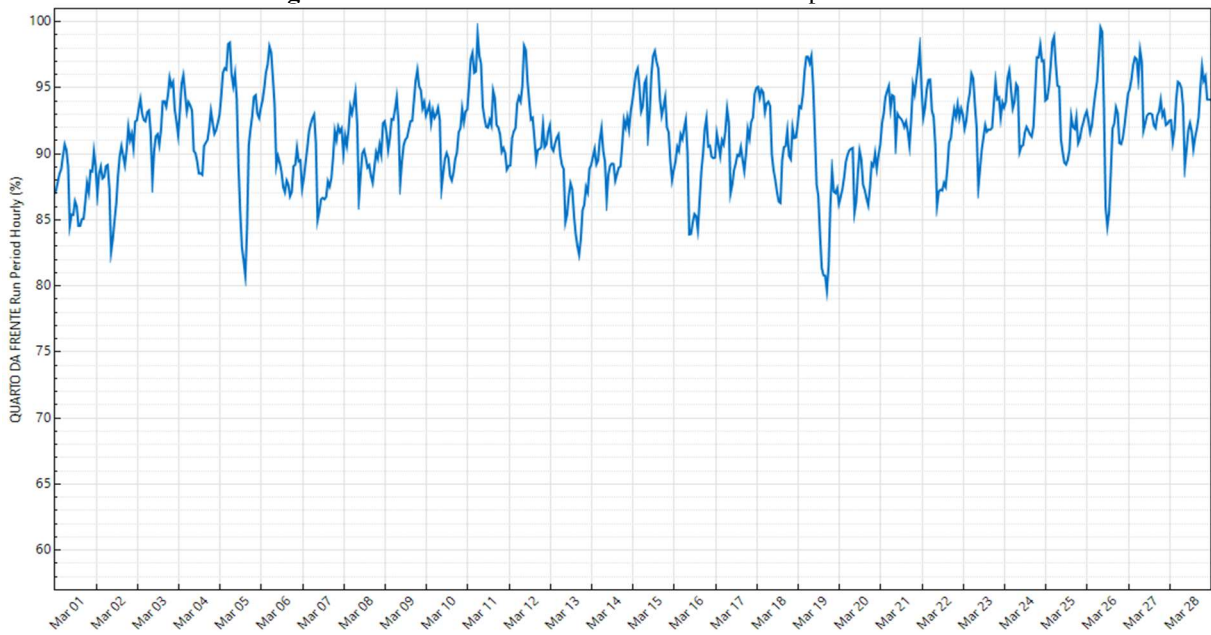
Tabela 6 - Umidade relativa interna do ar no quarto frontal.

Umidade/Mês	Média %	Mínima %	Máxima %	Desvio Padrão %
Jan	90,5497	76,9626	99,3346	3,4089
Fev	89,7054	77,9883	99,7129	3,8983
Mar	91,4596	79,6032	99,5323	3,3158
Abr	89,8225	72,9988	99,9934	4,1322
Mai	85,6896	62,4993	97,8542	5,6605
Jun	83,3330	68,5301	97,3269	5,8724
Jul	79,8613	58,0784	90,7829	5,5578
Ago	80,0868	64,2778	92,6894	5,0462

Set	84,3714	71,8902	94,7559	3,7977
Out	82,6987	65,2068	95,9255	4,5993
Nov	83,9808	68,6602	93,5190	4,2452
Dez	84,7615	72,5982	94,8599	4,3616
Total	85,4937	58,0784	99,9934	5,9638

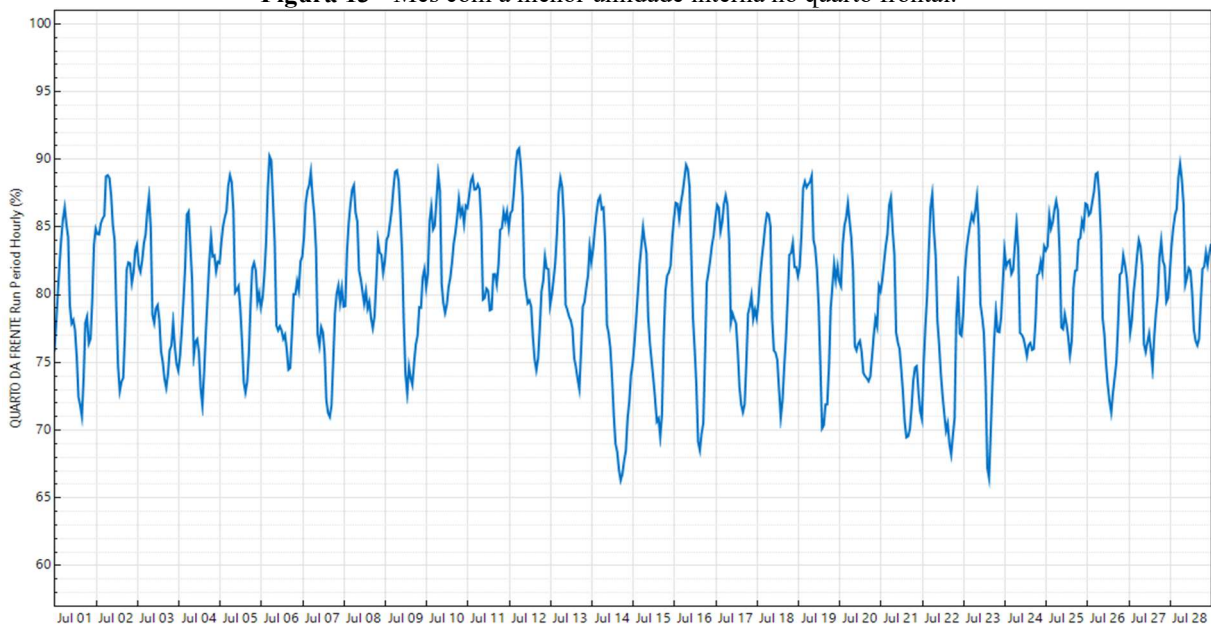
Fonte: Autor, (2023).

Figura 12 - Mês com a maior umidade interna no quarto frontal.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 13 - Mês com a menor umidade interna no quarto frontal.



Fonte: Autor, (2023).

5.1.3 Temperatura e Umidade Relativa Interna do Ar no Quarto Traseiro

Nota-se na Tabela 7 uma temperatura média anual de 27,18 °C, mínima de 22,67 °C, máxima de 32,76 °C e um desvio padrão de 2,03 °C. O mês com a maior temperatura dentro do quarto foi o de dezembro e o mês com a menor temperatura foi o de janeiro.

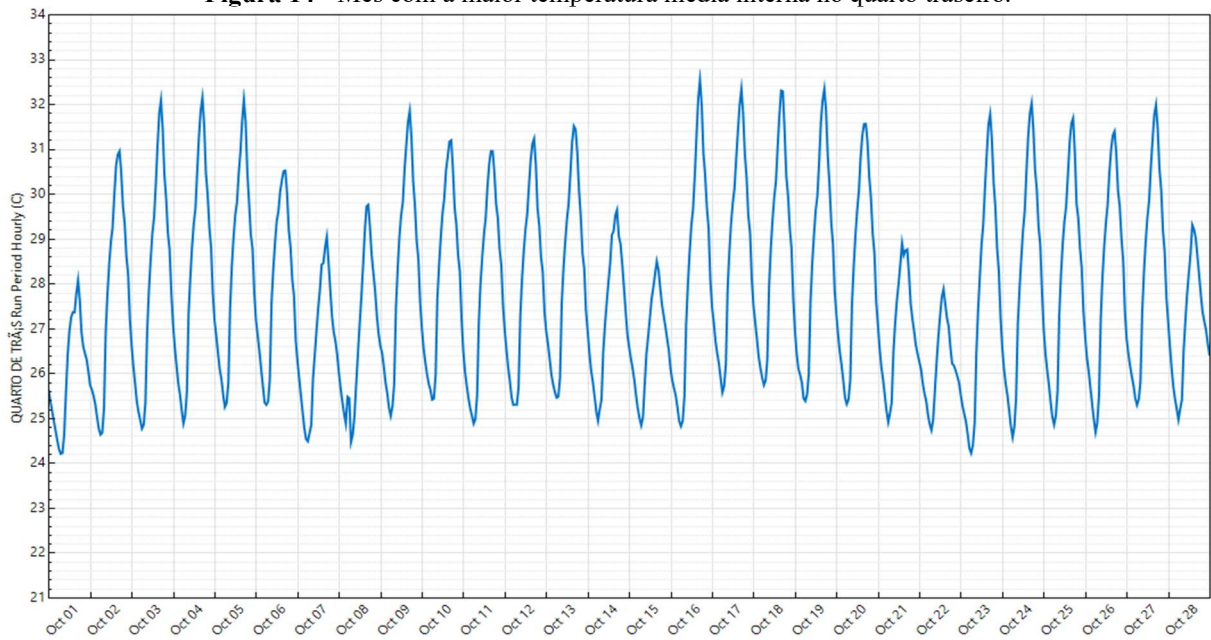
Na Figura 14 mostra-se o mês com a maior média da temperatura interna do ar no quarto traseiro, que é o mês de outubro apresentando uma temperatura mínima de 24,20 °C, máxima de 32,53 °C, uma média mensal de 27,74 °C e um desvio padrão de 2,12 °C.

Na Figura 15 mostra-se o mês de março com a menor média da temperatura interna do ar no quarto traseiro, resultando em uma temperatura mínima de 22,90 °C, máxima de 30,83 °C, uma média mensal de 26,35 °C e um desvio padrão de 1,80 °C.

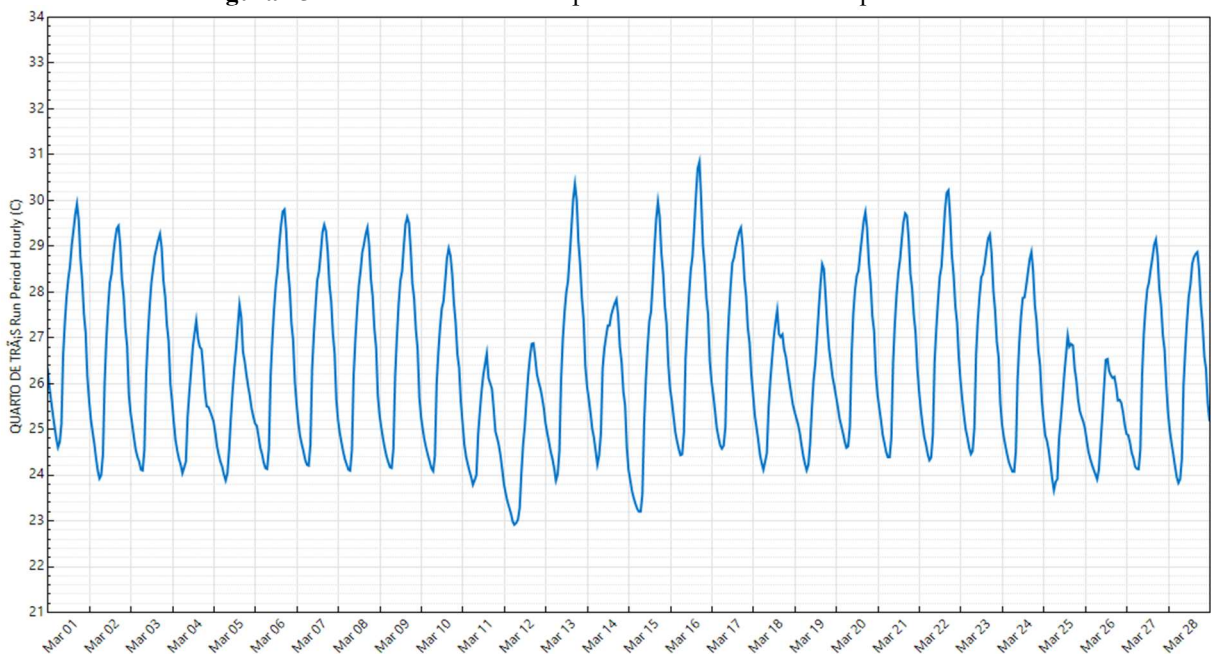
Tabela 7 - Temperatura interna do ar no quarto traseiro.

Temperatura/Mês	Média °C	Mínima °C	Máxima °C	Desvio Padrão °C
Jan	26,5797	22,6705	31,7047	1,9238
Fev	26,4860	23,4114	30,6621	1,7991
Mar	26,3540	22,9045	30,8335	1,8024
Abr	26,7450	23,6508	30,9182	1,7470
Mai	27,3300	23,8349	32,6043	2,0079
Jun	27,1641	23,4122	31,8980	2,0557
Jul	27,4606	23,3834	32,5445	2,0041
Ago	27,7404	24,1701	32,6602	2,1013
Set	27,1935	23,4598	31,6844	2,0133
Out	27,7426	24,2038	32,5331	2,1217
Nov	27,6688	23,9144	32,4316	2,0333
Dez	27,6483	24,4019	32,7622	1,9773
Total	27,1813	22,6705	32,7622	2,0309

Fonte: Autor, (2023).

Figura 14 - Mês com a maior temperatura média interna no quarto traseiro.

Fonte: Autor, (2023).

Figura 15 - Mês com a menor temperatura média interna no quarto traseiro.

Fonte: Autor, (2023).

Na Tabela 8 tem-se uma umidade relativa média anual de 85,85%, mínima de 59%, máxima de 100% e um desvio padrão de 5,88%. O mês com a maior umidade relativa dentro do quarto foi o de abril e o mês com a menor umidade relativa foi o de julho.

Na Figura 16 mostra-se o mês com a maior média mensal de umidade relativa do ar dentro do quarto traseiro, que é o mês de março, com uma umidade mínima de 76,83%, máxima de 99,85%, média de 91,58% e um desvio padrão de 3,44%.

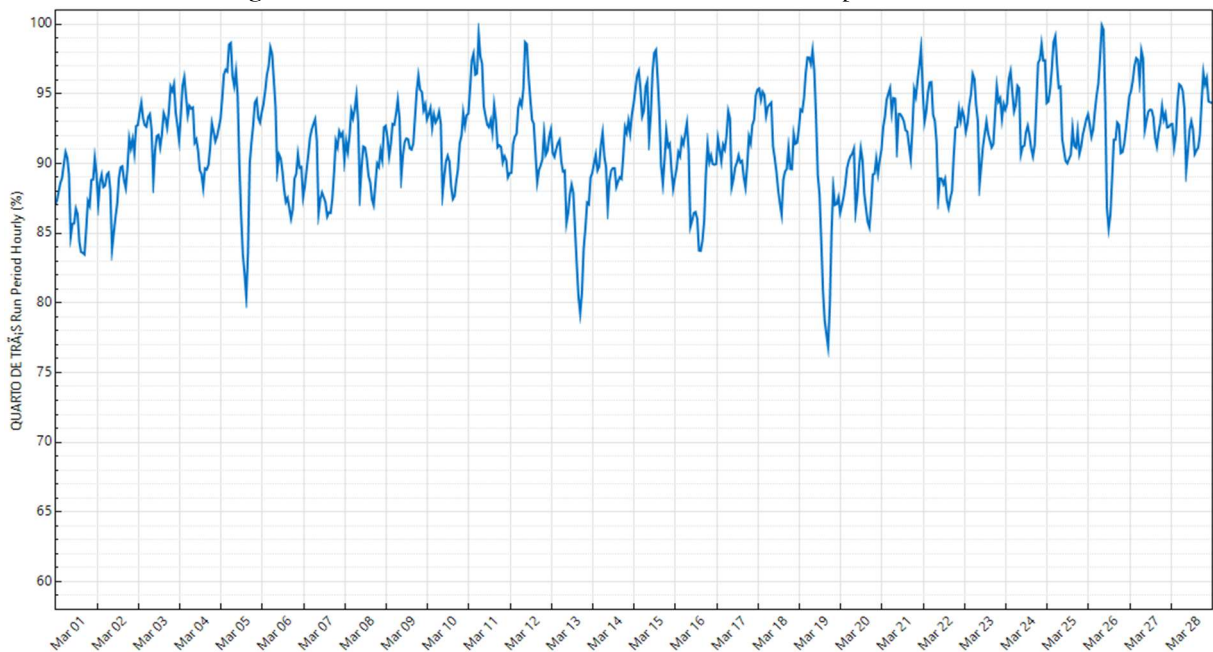
Na Figura 17 mostra-se o mês com a menor média mensal de umidade relativa do ar dentro do quarto traseiro, que é o mês de agosto, com uma umidade mínima de 62,82%, máxima de 93,15%, média de 81,04% e um desvio padrão de 5,11%.

Tabela 8 - Umidade relativa interna do ar no quarto de trás.

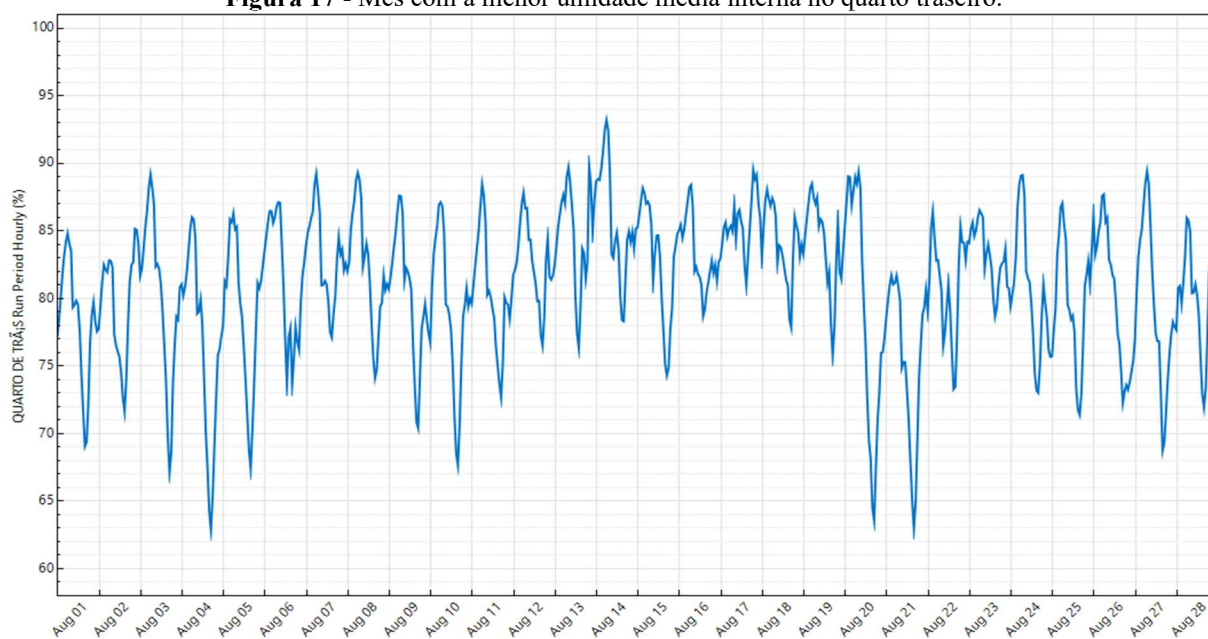
Umidade/Mês	Média %	Mínima %	Máxima %	Desvio Padrão %
Jan	90,2471	76,8941	99,4672	3,7000
Fev	89,6257	77,2325	99,8225	4,1360
Mar	91,5830	76,8379	99,8588	3,4471
Apr	90,3065	73,1726	100	4,1133
Mai	86,9330	63,1848	98,3888	5,2787
Jun	84,8447	69,6879	97,5852	5,4151
Jul	81,4090	59,0047	91,4643	5,3777
Ago	81,0490	62,8211	93,1584	5,1198
Set	84,5196	71,6437	95,1943	4,0833
Out	82,4617	61,8709	96,2225	5,2016
Nov	83,4454	67,5803	93,5210	4,6970
Dez	84,1573	70,3751	94,6258	4,8050
Total	85,8520	59,0047	100	5,8811

Fonte: Autor, (2023).

Figura 16 - Mês com a maior umidade média interna no quarto traseiro.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 17 - Mês com a menor umidade média interna no quarto traseiro.

Fonte: Autor, (2023).

5.1.4 Temperatura e Umidade Relativa Interna do Ar na Sala e Cozinha

Nota-se na Tabela 9 uma temperatura média anual de 26,76 °C, mínima de 22,41 °C, máxima de 31,69 °C e um desvio padrão de 1,96 °C. O mês com a maior temperatura dentro da sala e cozinha foi o de maio e o mês com a menor temperatura foi o de janeiro.

Na Figura 18 mostra-se o mês com a maior média da temperatura interna do ar na sala e cozinha, que é o mês de agosto apresentando uma temperatura mínima de 23,89 °C, máxima de 31,40 °C, uma média mensal de 27,32 °C e um desvio padrão de 2 °C.

Na Figura 19 mostra-se o mês de março com a menor média da temperatura interna do ar na sala e cozinha, resultando em uma temperatura mínima de 22,67 °C, máxima de 29,71 °C, uma média mensal de 26,02 °C e um desvio padrão de 1,76 °C.

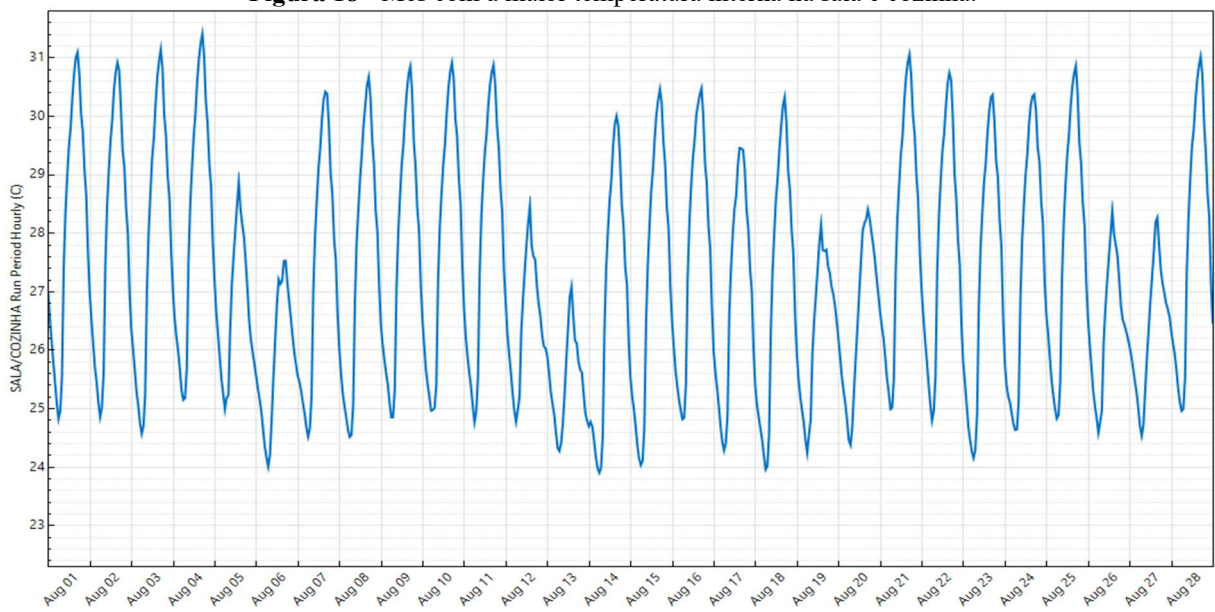
Tabela 9 - Temperatura interna do ar na sala e cozinha.

Temperatura/Mês	Média °C	Mínima °C	Máxima °C	Desvio Padrão °C
Jan	26,1658	22,4118	30,2287	1,8868
Fev	26,0910	23,0996	29,6894	1,7758
Mar	26,0217	22,6739	29,7171	1,7682
Abr	26,3558	23,3442	30,2518	1,7384
Mai	26,9674	23,5454	31,6918	2,0188
Jun	26,8209	23,1580	30,9897	2,0727

Jul	27,0939	23,2110	31,4389	1,9957
Ago	27,3239	23,8959	31,4004	2,0081
Set	26,7766	23,2248	30,5109	1,8649
Out	27,2415	23,9329	30,9861	1,9579
Nov	27,1378	23,5456	30,9054	1,9279
Dez	27,0735	24,0385	31,0806	1,8916
Total	26,7609	22,4118	31,6918	1,9656

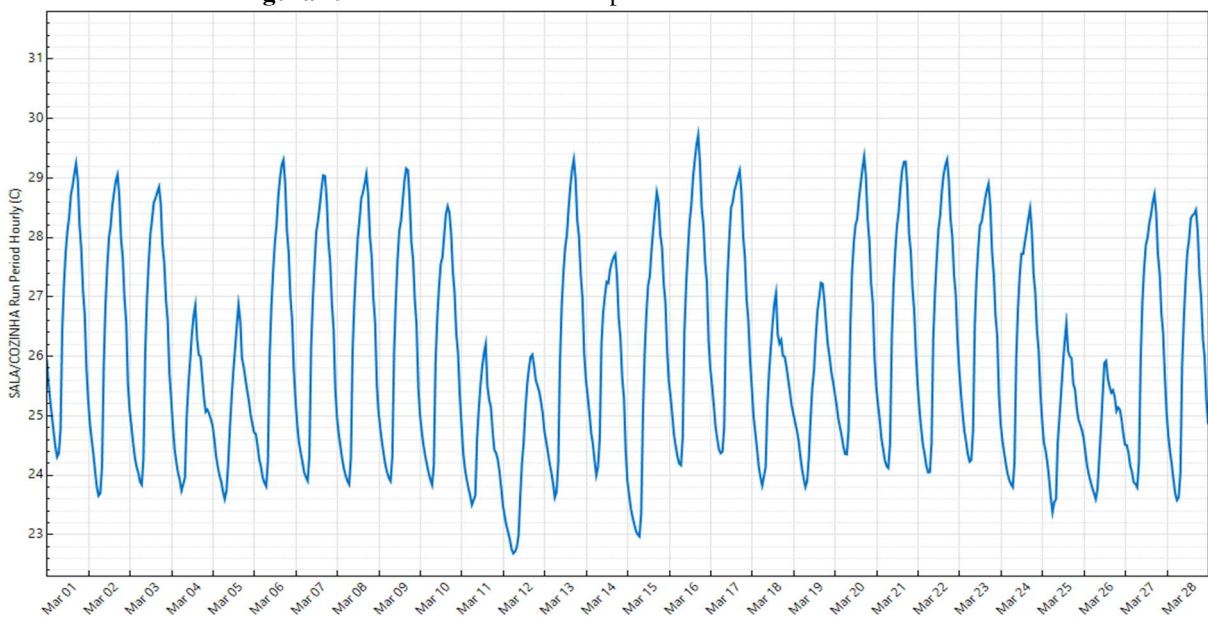
Fonte: Autor, (2023).

Figura 18 - Mês com a maior temperatura interna na sala e cozinha.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 19 - Mês com a menor temperatura interna na sala e cozinha.



Fonte: Autor, (2023).

Na Tabela 10 tem-se uma umidade relativa média anual de 88,96%, mínima de 62,49%, máxima de 100% e um desvio padrão de 5,46%. Os meses com a maior umidade relativa dentro da sala e cozinha foram fevereiro, março, abril e maio e o mês com a menor umidade relativa foi o de julho.

Na Figura 20 mostra-se o mês com a maior média mensal de umidade relativa do ar dentro da sala e cozinha, que é o mês de março, com uma umidade mínima de 82,93%, máxima de 100%, média de 94,32% e um desvio padrão de 3,28%.

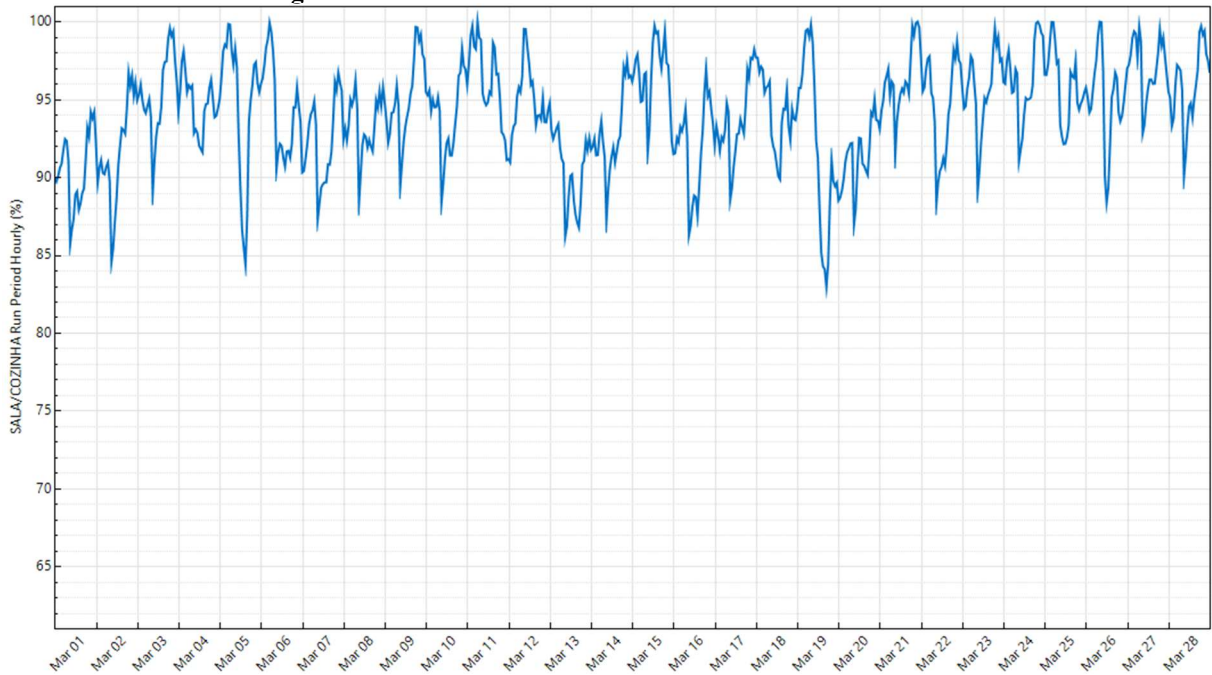
Na Figura 21 mostra-se o mês com a menor média mensal de umidade relativa do ar dentro da sala e cozinha, que é o mês de agosto, com uma umidade mínima de 69,66%, máxima de 94,97%, média de 84,06% e um desvio padrão de 4,42%.

Tabela 10 - Umidade relativa interna do ar na sala e cozinha.

Umidade/Mês	Média %	Mínima %	Máxima %	Desvio Padrão %
Jan	93,4368	80,7582	99,9982	3,3357
Fev	92,7182	80,1035	100	3,6167
Mar	94,3244	82,9349	100	3,2804
Abr	93,3183	78,8337	100	3,6072
Mai	89,8884	67,0787	100	4,9792
Jun	87,6553	73,5613	99,5778	5,1254
Jul	84,2016	62,4931	92,7716	4,8412
Ago	84,0675	69,6645	94,9729	4,4212
Set	87,5318	75,4742	96,6650	3,5675
Out	85,7997	68,3527	97,6710	4,3483
Nov	87,0275	72,7726	97,0645	4,1589
Dez	87,9285	75,7263	97,5191	4,2783
Total	88,9617	62,4931	100	5,4631

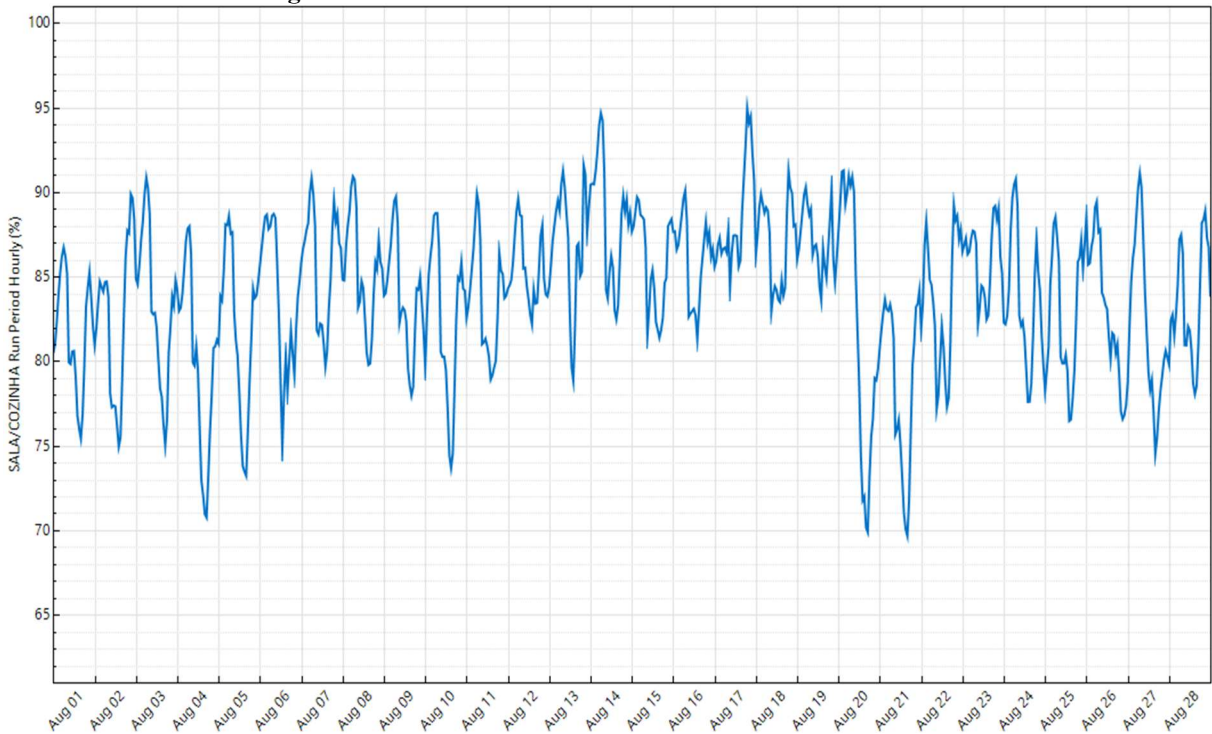
Fonte: Autor, (2023).

Figura 20 - Mês com a maior umidade média na sala e cozinha.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 21 - Mês com a menor umidade média na sala e cozinha.



Fonte: Autor, (2023).

5.1.5 Análise da Curva de Duração da Temperatura interna e Umidade Relativa do Ar nos Cômodos

Abaixo na Figura 22 mostra-se a curva de duração anual da temperatura interna do ar

nos cômodos da casa popular totalizando 8.760 horas.

Nota-se que no banheiro (linha azul) as temperaturas ficaram entre 23,43 °C e 32,89 °C, apresentando a maior temperatura em horas medidas do ano de 2022.

Percebe-se que os quartos frontal e traseiro têm temperaturas próximas, o quarto frontal (linha laranja) teve suas temperaturas internas entre 22,69 °C e 32,64 °C, o quarto traseiro (linha vermelha) teve sua temperatura entre 22,67 °C e 32,76 °C.

A sala e cozinha (linha marrom) apresentaram as menores temperaturas internas do ar por mais horas do ano de 2022, que ficaram entre 22,41°C e 31,69 °C.

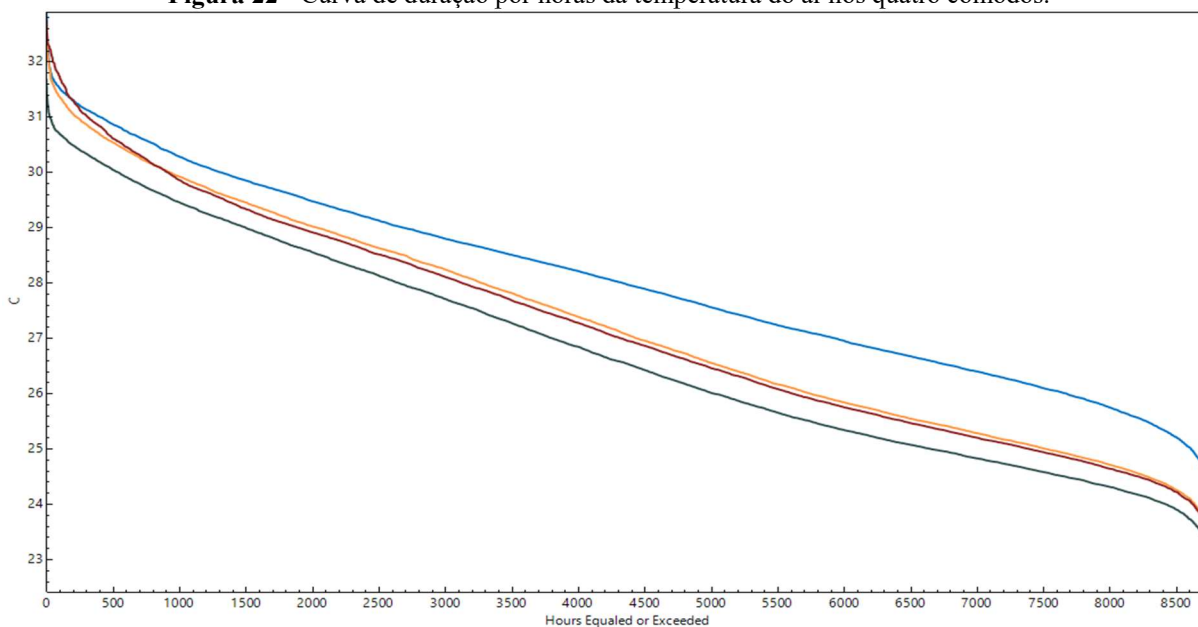
Na Figura 23 mostra-se a curva de duração anual da umidade relativa interna do ar nos cômodos da casa popular totalizando 8.760 horas.

Como pode-se ver na Figura 28 o banheiro (linha azul) apresentou menores umidades relativas por um maior período de horas ficando entre 55,51% e 99,37%.

No quarto frontal (linha laranja) apresentou umidade relativa entre 58,07% e 99,99%, o quarto traseiro (linha vermelha) a umidade relativa ficou entre 59% e 100%.

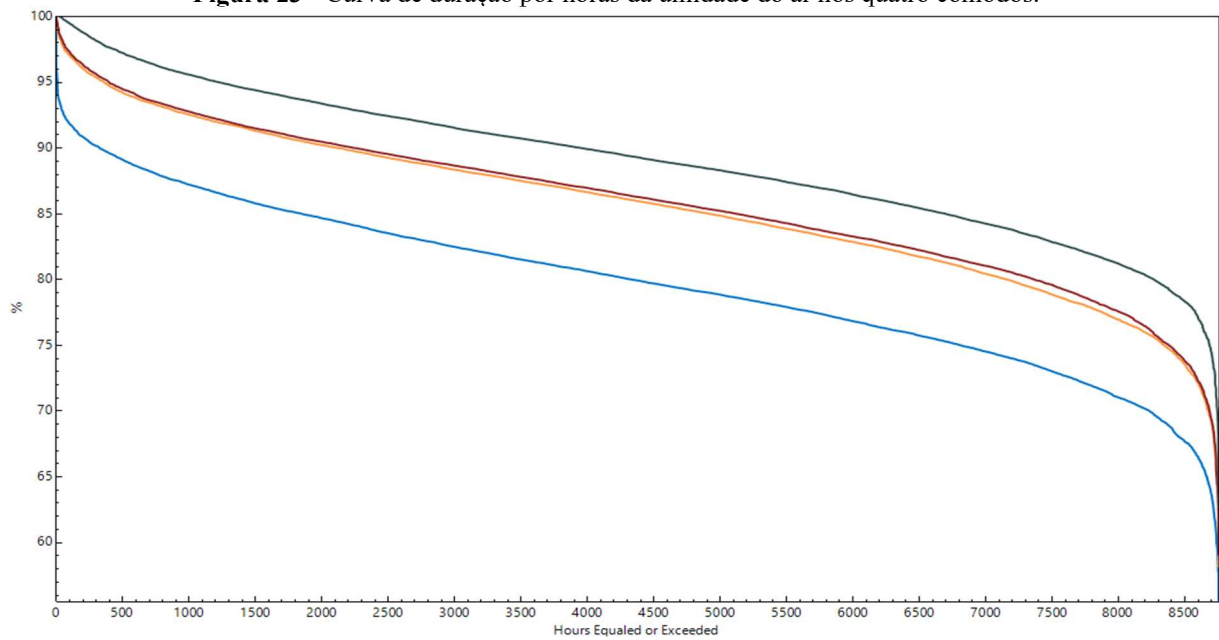
Na sala e cozinha a umidade relativa ficou entre 62,49% e 100% apresentando maiores umidades relativas por mais tempo.

Figura 22 - Curva de duração por horas da temperatura do ar nos quatro cômodos.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 23 - Curva de duração por horas da umidade do ar nos quatro cômodos.

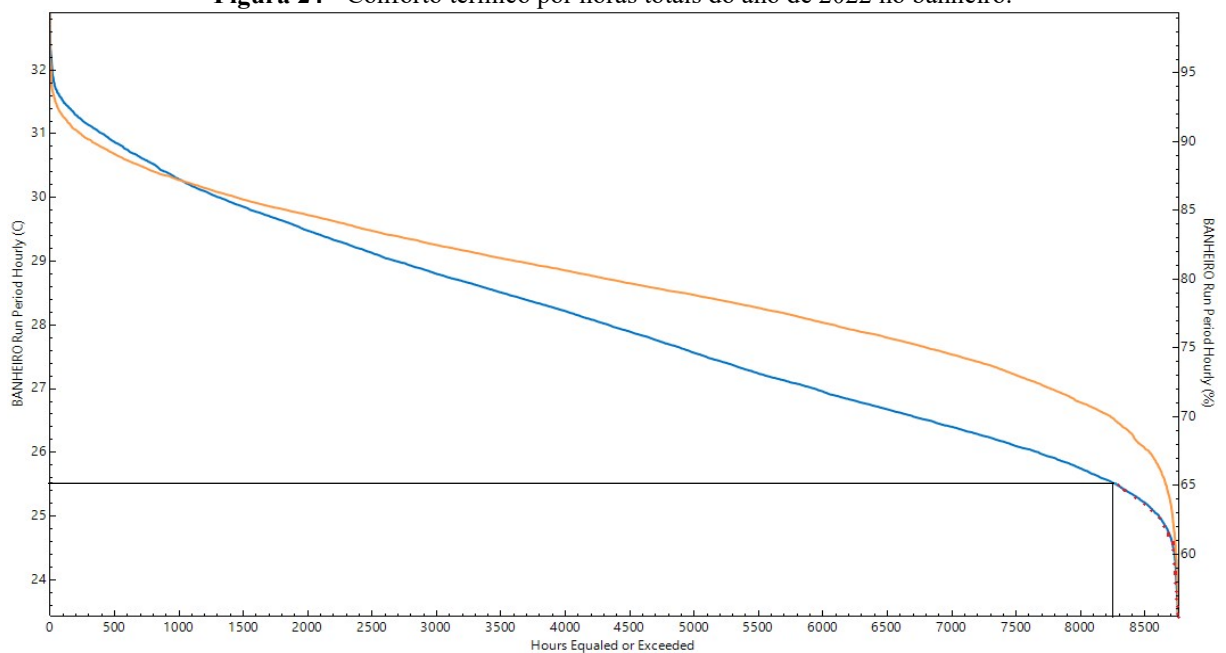


Fonte: Autor, (2023).

5.1.6 Conforto Térmico nos Cômodos

Percebe-se na Figura 24 que a umidade (linha laranja) no banheiro vai de 55,51% a 99,37%, portanto, utiliza-se o parâmetro de conforto térmico entre 22,5 °C a 25,5 °C da NBR 16401-2. A temperatura interna do banheiro (linha azul) vai de 23,43 °C a 32,89 °C, logo, o banheiro apresentou 510 horas (5,82%) anuais dentro dos padrões de conforto térmico de um total de 8.760 horas, representado com linhas pretas na horizontal, vertical e pontos vermelhos.

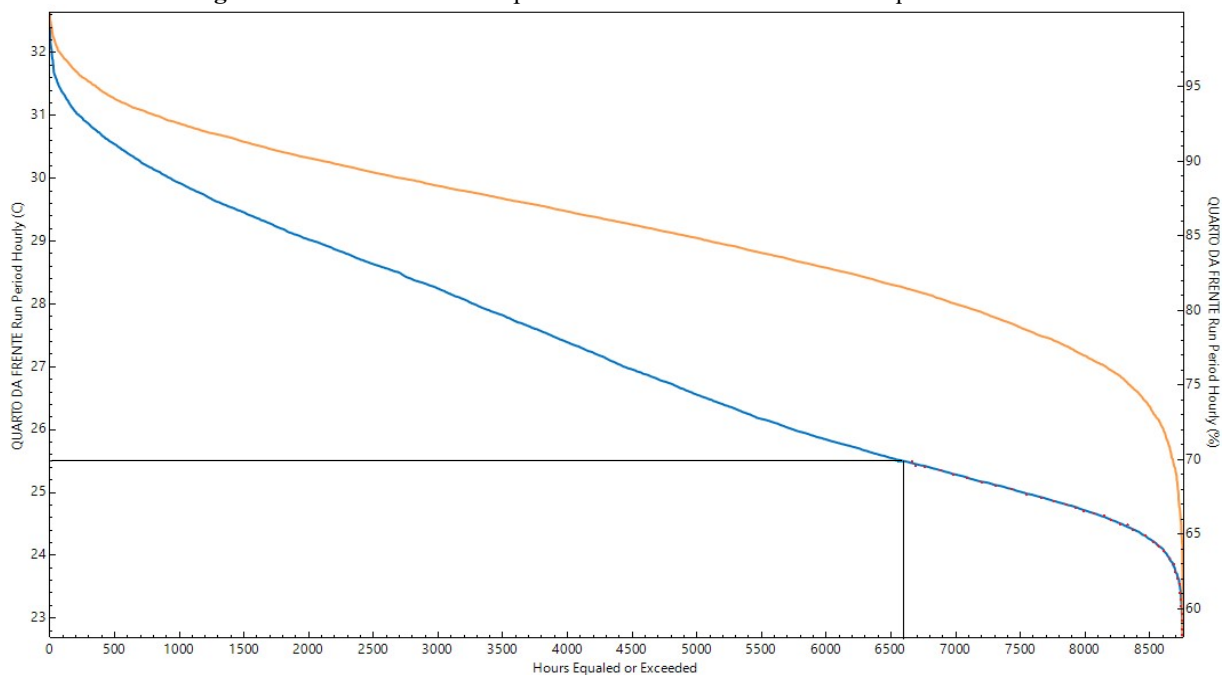
Figura 24 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 no banheiro.



Fonte: Autor, (2023).

Nota-se na Figura 25 a umidade relativa (linha laranja) no quarto frontal vai de 58,07% a 99,99%, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 °C a 25,5 °C. A temperatura interna do quarto frontal (linha azul) vai de 22,69 °C a 32,64 °C, logo, o quarto frontal apresentou 2.160 horas (24,65%) anuais dentro dos padrões de conforto térmico de um total de 8.760 horas, representado com linhas pretas na horizontal, vertical e pontos vermelhos.

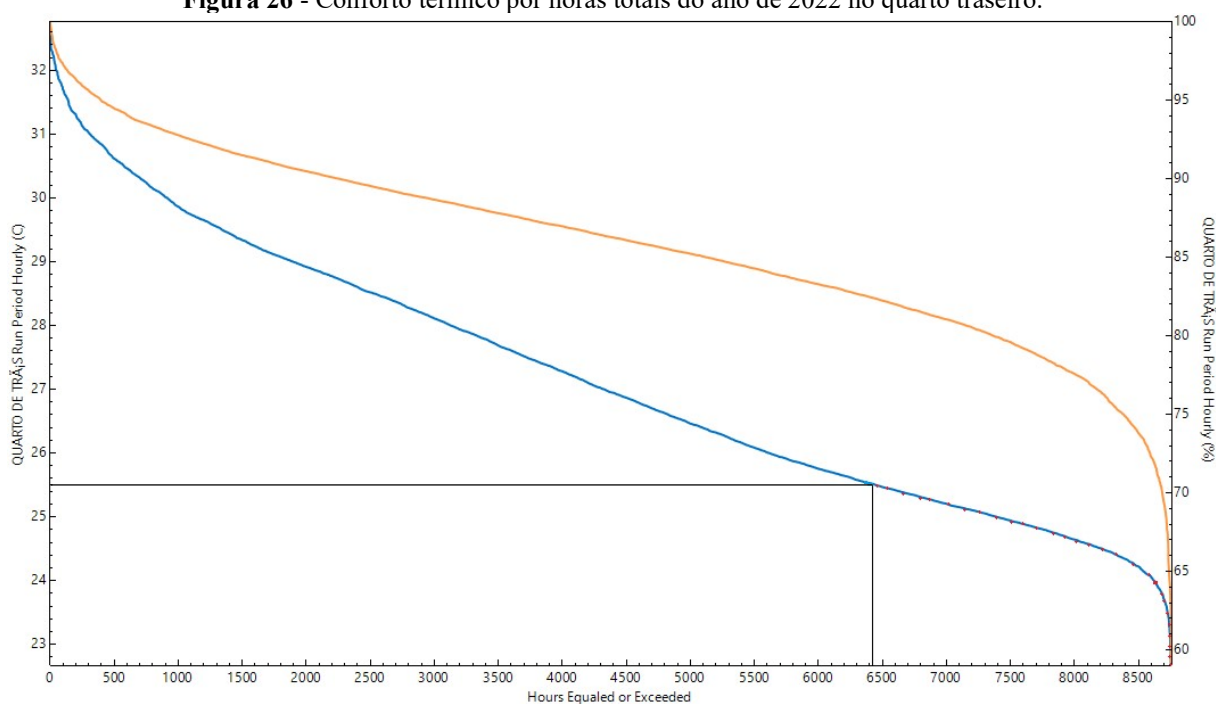
Figura 25 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 no quarto frontal.



Fonte: Autor, (2023).

Nota-se na Figura 26 a umidade relativa (linha laranja) no quarto traseiro vai de 59% a 100%, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 °C a 25,5 °C da NBR 16401-2. A temperatura interna do quarto traseiro (linha azul) vai de 22,67 °C a 32,76 °C, logo, o quarto traseiro apresentou 2.340 horas (26,71%) anuais dentro dos padrões de conforto térmico de um total de 8.760 horas, representado com linhas pretas na horizontal, vertical e pontos vermelhos.

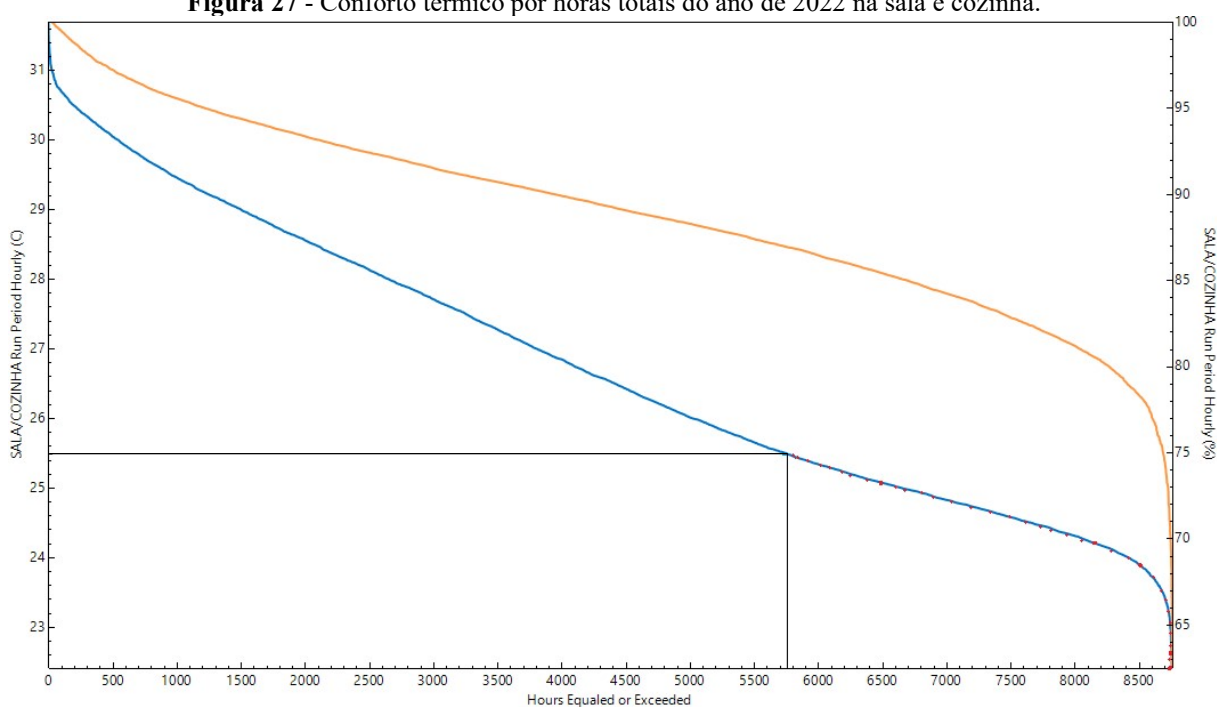
Figura 26 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 no quarto traseiro.



Fonte: Autor, (2023).

Nota-se na Figura 27 a umidade relativa (linha laranja) na cozinha e sala vai de 62,49% a 100%, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 °C a 25,5 °C da NBR 16401-2. A temperatura interna da sala e cozinha (linha azul) vai de 22,41 °C a 31,69 °C, logo, a sala e cozinha apresentaram 3.010 horas (34,36%) anuais dentro dos padrões de conforto térmico de um total de 8.760 h, representado com linhas pretas na horizontal, vertical e pontos vermelhos. Nota-se também que a temperatura mínima estipulada pela NBR 16401-2 é de 22,5 °C e a temperatura mínima resultante na simulação na sala e cozinha é de 22,41 °C, logo a diferença de 0,09 °C do parâmetro da NBR 16401-2 foi considerada como dentro dos padrões térmicos, devido as horas medidas para essa mínima serem até mesmo imperceptíveis na própria curva de duração.

Figura 27 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 na sala e cozinha.



Fonte: Autor, (2023).

5.2 Simulações Realizadas com a Substituição de Materiais Construtivos da Casa Popular

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos de simulações substituindo o bloco de concreto por tijolo cerâmico, e as janelas de alumínio por janelas de madeiras.

5.2.1 Substituição de Materiais e Condições de Conforto Térmico - Banheiro

Na Tabela 11 mostra-se a temperatura interna do ar no banheiro com as substituições de materiais construtivos. Obteve-se uma temperatura média anual de 27,39 °C, uma mínima de 23,03 °C, uma máxima de 31,9 °C e um desvio padrão de 1,66 °C.

O mês que apresentou a maior média anual da temperatura interna do ar foi o de agosto, onde sua temperatura média foi de 27,94 °C, mínima de 24,61 °C, máxima de 31,3 °C e um desvio padrão de 1,68 °C.

O mês que apresentou a menor média anual da temperatura interna do ar foi o de março, onde sua temperatura média foi de 26,43 °C, mínima de 23,24 °C, máxima de 29,36 °C e um desvio padrão de 1,41 °C.

Tabela 11 - Temperatura interna do ar no banheiro com a troca de materiais.

Temperatura/Mês	Média °C	Mínima °C	Máxima °C	Desvio Padrão °C
-----------------	----------	-----------	-----------	------------------

Jan	26,7538	23,0384	30,1990	1,5627
Fev	26,6080	23,9496	29,5632	1,4136
Mar	26,4353	23,2472	29,3630	1,4183
Abr	26,9392	24,2223	30,2156	1,3898
Mai	27,6825	24,3306	31,9086	1,6772
Jun	27,5295	23,8823	30,8535	1,6967
Jul	27,8320	23,8988	31,3025	1,6395
Ago	27,9436	24,6120	31,3075	1,6806
Set	27,2751	23,9877	30,3395	1,5675
Out	27,8700	24,6549	30,8453	1,6459
Nov	27,9060	24,6025	30,8777	1,5991
Dez	27,9189	24,9485	31,1402	1,5614
Total	27,3971	23,0384	31,9086	1,6664

Fonte: Autor, (2023).

Na Tabela 12 mostra-se a umidade relativa interna do ar no banheiro com as trocas de materiais (bloco de concreto e janela de alumínio), onde resultou-se em uma umidade média anual de 82,57%, uma mínima de 57,66%, máxima de 99,89% e um desvio padrão de 6,04%.

O mês que apresentou a maior média anual da umidade interna do ar foi o de março, onde sua umidade média foi de 88,91%, mínima de 77,49%, máxima de 99,89% e um desvio padrão de 3,53%.

O mês que apresentou a menor média anual da umidade interna do ar foi o de julho, onde sua umidade média foi de 77,53%, mínima de 57,66%, máxima de 88,48% e um desvio padrão de 5,40%.

Tabela 12 - Umidade relativa interna do ar no banheiro com a troca de materiais.

Umidade/Mês	Média %	Mínima %	Máxima %	Desvio Padrão %
Jan	87,1528	74,1985	98,0821	3,9874
Fev	86,7138	75,0503	96,6359	4,3885
Mar	88,9103	77,4951	99,8990	3,5371
Abr	87,1802	67,8791	97,9468	4,2735
Mai	82,9186	62,4090	94,9000	5,4951
Jun	80,8599	65,6977	94,8166	5,5864
Jul	77,5347	57,6603	88,4894	5,4041

Ago	77,7858	59,8788	90,7554	5,1914
Set	81,8989	70,6790	92,6177	4,0469
Out	79,5760	61,8436	93,7675	4,9838
Nov	80,0307	62,0524	90,7652	4,6149
Dez	80,6916	69,6323	90,6754	4,6747
Total	82,5717	57,6603	99,8990	6,0487

Fonte: Autor, (2023).

5.2.2 Substituição de Materiais e Condições de Conforto Térmico - Quarto Frontal

Na Tabela 13 mostra-se a temperatura interna do ar no quarto frontal com as trocas de materiais, onde resultou-se em uma temperatura média anual de 26,77 °C, uma mínima de 22,33 °C, máxima de 32,50 °C e um desvio padrão de 2,10 °C.

O mês que apresentou a maior média anual da temperatura interna do ar foi o de agosto, onde sua temperatura média foi de 27,45 °C, mínima de 23,71 °C, máxima de 32,09 °C e um desvio padrão de 2,25 °C.

O mês que apresentou a menor média anual da temperatura interna do ar foi o de março, onde sua temperatura média foi de 26 °C, mínima de 22,54 °C, máxima de 29,58 °C e um desvio padrão de 1,84 °C.

Tabela 13 -Temperatura interna do ar no quarto frontal com a troca de materiais.

Temperatura/Mês	Média °C	Mínima °C	Máxima °C	Desvio Padrão °C
Jan	26,0818	22,3363	29,9150	1,8742
Fev	26,0230	23,0535	29,6793	1,8244
Mar	26,0047	22,5436	29,5855	1,8414
Abr	26,4100	23,2958	30,6256	1,8790
Mai	27,1659	23,4510	32,5192	2,2711
Jun	27,1493	23,0501	31,8814	2,4156
Jul	27,3827	23,0566	32,3855	2,3322
Ago	27,4523	23,7167	32,0944	2,2530
Set	26,7139	23,0667	30,6200	1,9600
Ago	27,0666	23,7182	30,6836	1,9769
Nov	26,9381	23,4390	30,5735	1,9264
Dez	26,8907	23,8435	30,7422	1,8673

Total	26,7788	22,3363	32,5192	2,1079
-------	---------	---------	---------	--------

Fonte: Autor, (2023).

Na Tabela 14 mostra-se a umidade relativa interna do ar no quarto frontal com as trocas de materiais, onde resultou-se em uma umidade média anual de 87,77%, uma mínima de 58,39%, máxima de 100% e um desvio padrão de 6,41%.

O mês que apresentou a maior média anual da umidade interna do ar foi o de março, onde sua umidade média foi de 93,29%, mínima de 81,58%, máxima de 100% e um desvio padrão de 3,62%.

O mês que apresentou a menor média anual da umidade interna do ar foi o de julho, onde sua umidade média foi de 81,92%, mínima de 58,39%, máxima de 93,39% e um desvio padrão de 6,60%.

Tabela 14 - Umidade relativa interna do ar no quarto frontal com a troca de materiais.

Umidade/Mês	Média %	Mínima %	Máxima %	Desvio Padrão %
Jan	92,6895	78,0425	100	3,7487
Fev	91,8512	78,3997	100	4,3421
Mar	93,2923	81,5812	100	3,6237
Abr	91,9880	73,4977	100	4,6914
Mai	87,8633	62,7483	100	6,5357
Jun	85,1404	68,1220	99,7946	6,8866
Jul	81,9215	58,3930	93,3928	6,6062
Ago	82,4121	64,7568	95,7325	5,9411
Set	86,7139	73,1114	97,6089	4,3615
Out	85,4420	66,9382	99,0161	5,1490
Nov	86,7548	70,1037	96,7053	4,6108
Dez	87,6253	74,5561	98,3584	4,7419
Total	87,7762	58,3930	100	6,4187

Fonte: Autor, (2023).

5.2.3 Substituição de Materiais e Condições de Conforto Térmico - Quarto Traseiro

Na Tabela 15 mostra-se a temperatura interna do ar no quarto traseiro com as trocas de materiais, onde resultou-se em uma temperatura média anual de 26,73 °C, uma mínima de 22,31

°C, máxima de 32,82 °C e um desvio padrão de 2,15 °C.

O mês que apresentou a maior média anual da temperatura interna do ar foi o de agosto, onde sua temperatura média foi de 27,26 °C, mínima de 23,64 °C, máxima de 32,72 °C e um desvio padrão de 2,28 °C.

O mês que apresentou a menor média anual da temperatura interna do ar foi o de março, onde sua temperatura média foi de 26,03 °C, mínima de 22,51 °C, máxima de 31,03 °C e um desvio padrão de 1,94 °C.

Tabela 15 -Temperatura interna do ar no quarto traseiro com a troca de materiais.

Temperatura/Mês	Média °C	Mínima °C	Máxima °C	Desvio Padrão °C
Jan	26,1999	22,3193	31,8611	2,0296
Fev	26,0975	23,0341	30,7448	1,9332
Mar	26,0363	22,5185	31,0347	1,9413
Abr	26,3354	23,2329	30,8147	1,8741
Mai	26,8544	23,4064	32,5680	2,1247
Jun	26,7261	22,9539	31,9277	2,1936
Jul	26,9682	22,9569	32,6191	2,1611
Ago	27,2640	23,6467	32,7260	2,2808
Set	26,8007	23,0001	31,8434	2,1869
Out	27,2544	23,7037	32,6976	2,2727
Nov	27,1506	23,4584	32,4558	2,1581
Dez	27,1068	23,8618	32,8236	2,1004
Total	26,7376	22,3193	32,8236	2,1544

Fonte: Autor, (2023).

Na Tabela 16 mostra-se a umidade relativa interna do ar no quarto traseiro com as trocas de materiais, onde resultou-se em uma umidade média anual de 87,99%, uma mínima de 59,39%, máxima de 100% e um desvio padrão de 6,32%.

O mês que apresentou a maior média anual da umidade interna do ar foi o de março, onde sua umidade média foi de 93,19%, mínima de 77,14%, máxima de 100% e um desvio padrão de 3,88%.

O mês que apresentou a menor média anual da umidade interna do ar foi o de agosto, onde sua umidade média foi de 83,25%, mínima de 62,40%, máxima de 96,13% e um desvio padrão de 5,97%.

Tabela 16 - Umidade relativa interna do ar no quarto traseiro com a troca de materiais.

Umidade/Mês	Média %	Mínima %	Máxima %	Desvio Padrão %
Jan	92,2011	77,9176	100	4,2107
Fev	91,5610	77,1427	100	4,7185
Mar	93,1979	77,1479	100	3,8845
Abr	92,3717	73,6283	100	4,6555
Mai	89,2725	63,7236	100	5,8906
Jun	86,9672	70,0786	99,9598	6,0552
Jul	83,6818	59,3912	93,9840	6,1417
Ago	83,2516	62,4063	96,1356	5,9708
Set	86,4095	71,9470	97,9744	4,8639
Out	84,7486	61,9371	99,2395	6,0427
Nov	85,9093	68,6117	96,6135	5,3309
Dez	86,7489	70,0392	98,1285	5,4510
Total	87,9988	59,3912	100	6,3269

Fonte: Autor, (2023).

5.2.4 Substituição de Materiais e Condições de Conforto Térmico - Sala e Cozinha

Na Tabela 17 mostra-se a temperatura interna do ar na sala e cozinha com as trocas de materiais, onde gerou-se uma temperatura média anual de 26,23 °C, uma mínima de 22,08 °C, máxima de 31,19 °C e um desvio padrão de 2,01 °C.

O mês que apresentou a maior média anual da temperatura interna do ar foi o de agosto, onde sua temperatura média foi de 26,72 °C, mínima de 23,38 °C, máxima de 30,9 °C e um desvio padrão de 2,08 °C.

O mês que apresentou a menor média anual da temperatura interna do ar foi o de março, onde sua temperatura média foi de 25,61 °C, mínima de 22,29 °C, máxima de 29,26 °C e um desvio padrão de 1,83 °C.

Tabela 17 - Temperatura interna do ar na sala e cozinha com a troca de materiais.

Temperatura/Mês	Média °C	Mínima °C	Máxima °C	Desvio Padrão °C
Jan	25,7409	22,0811	29,8427	1,9434
Fev	25,6438	22,7311	29,2946	1,8495

Mar	25,6106	22,2965	29,2611	1,8313
Abr	25,8767	22,9239	29,8469	1,8089
Mai	26,4521	23,1185	31,1902	2,0882
Jun	26,3567	22,6628	30,6552	2,1739
Jul	26,5508	22,7835	31,0410	2,0986
Ago	26,7249	23,3862	30,9301	2,0823
Set	26,2068	22,7435	29,9934	1,9034
Out	26,6025	23,4278	30,3064	1,9761
Nov	26,5481	23,1070	30,3012	1,9705
Dez	26,4902	23,5248	30,4886	1,9490
Total	26,2381	22,0811	31,1902	2,0150

Fonte: Autor, (2023).

Na Tabela 18 mostra-se a umidade relativa interna do ar na sala e cozinha com as trocas de materiais, onde obteve-se uma umidade média anual de 91,42%, uma mínima de 63,97%, máxima de 100% e um desvio padrão de 5,56%.

O mês que apresentou a maior média anual da umidade interna do ar foi o de março, onde sua umidade média foi de 96,16%, mínima de 85,62%, máxima de 100% e um desvio padrão de 3,18%.

O mês que apresentou a menor média anual da umidade interna do ar foi o de julho, onde sua umidade média foi de 86,73%, mínima de 63,97%, máxima de 95,71% e um desvio padrão de 5,45%.

Tabela 18 - Umidade relativa interna do ar na sala e cozinha com a troca de materiais.

Umidade/Mês	Média %	Mínima %	Máxima %	Desvio Padrão %
Jan	95,4245	82,0166	100	3,4721
Fev	94,7586	82,0445	100	3,7975
Mar	96,1645	85,6255	100	3,1839
Abr	95,4789	80,1439	100	3,6562
Mai	92,3654	68,5854	100	5,3925
Jun	89,8848	74,5661	100	5,663
Jul	86,7354	63,9762	95,712	5,4512
Ago	86,8413	71,0088	97,6249	4,9654
Set	90,2717	77,5938	99,6587	3,9681

Out	88,7956	70,2578	99,9311	4,7943
Nov	89,8769	75,2517	99,7768	4,519
Dez	90,7734	77,8299	100	4,6991
Total	91,4209	63,9762	100	5,5617

Fonte: Autor, (2023).

5.2.5 Análise da Curva de Duração da Temperatura e da Umidade Relativa do Ar nos Cômodos da Casa Popular com a Substituição de Materiais Construtivos

Na Figura 28 mostra-se a curva de duração anual da temperatura interna do ar nos cômodos da casa popular totalizando 8.760 horas do ano de 2022.

Nota-se que no banheiro (linha azul) as temperaturas ficaram entre 23,03 °C e 31,90 °C, apresentando a temperatura mais elevada por mais horas.

Percebe-se que os quartos frontal e traseiro têm temperaturas próximas, o quarto frontal (linha laranja) teve suas temperaturas internas entre 22,33 °C e 32,51 °C, o quarto traseiro (linha vermelha) teve sua temperatura entre 22,31 °C e 32,82 °C.

A sala e cozinha (linha marrom) apresentaram as menores temperaturas internas do ar por mais horas, que ficaram entre 22,08 °C e 31,19 °C.

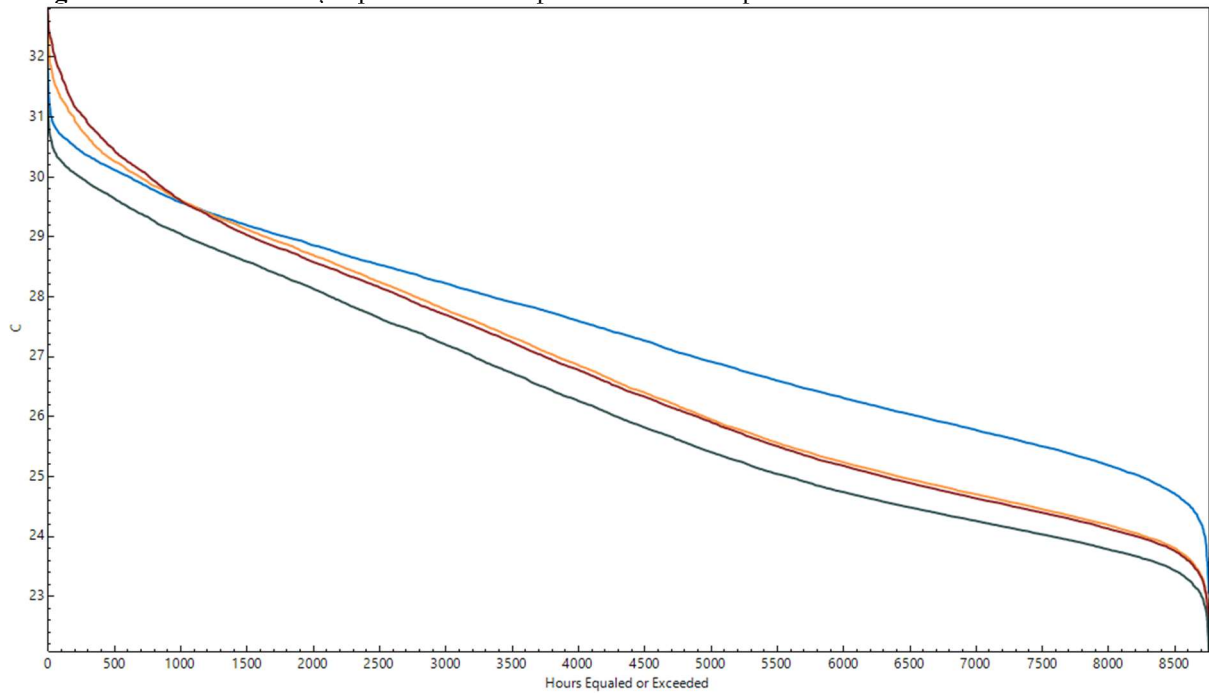
Na Figura 29 mostra-se a curva de duração anual da umidade relativa interna do ar nos cômodos da casa popular totalizando 8.760 horas do ano de 2022.

Como pode-se ver na Figura 29 o banheiro (linha azul) apresentou menores umidades relativas por um maior período de horas ficando entre 57,66% e 99,89%.

No quarto frontal (linha laranja) apresentou umidade relativa entre 58,39% e 100%, o quarto traseiro (linha vermelha) a umidade relativa ficou entre 59,39% e 100%.

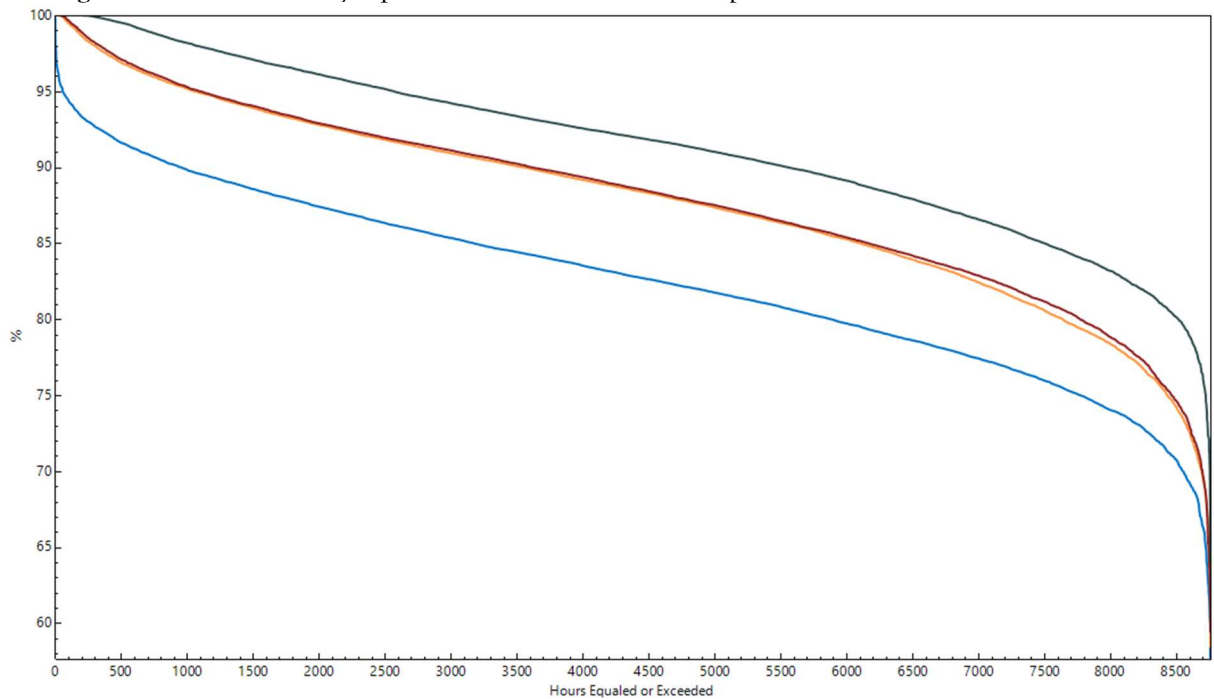
Na sala e cozinha a umidade relativa ficou entre 63,97% e 100% apresentando maiores umidades relativas por mais tempo.

Figura 28 - Curva de duração por horas da temperatura do ar nos quatro cômodos com a troca de materiais.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 29 - Curva de duração por horas da umidade do ar nos quatro cômodos com a troca de materiais.

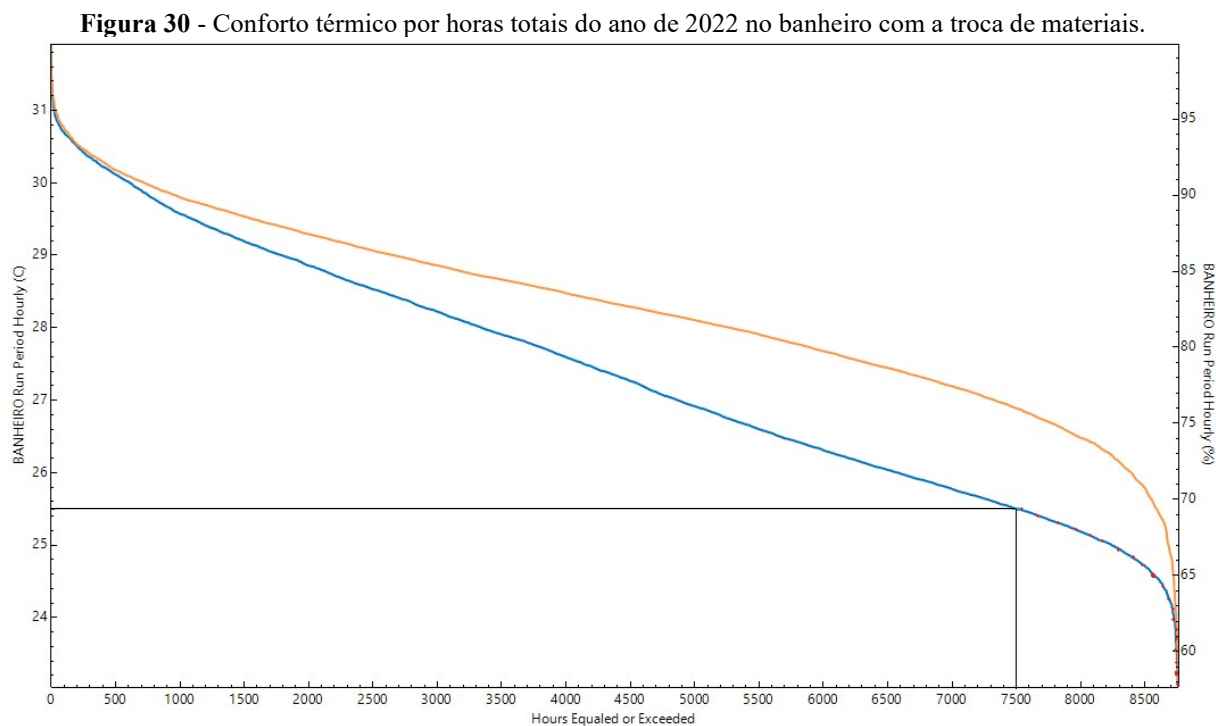


Fonte: Autor, (2023).

5.2.6 Conforto Térmico nos Cômodos com a Substituição dos Materiais Construtivos

Percebe-se na Figura 30 que a umidade (linha laranja) no banheiro vai de 57,66% a 99,89%, portanto, utiliza-se o parâmetro de conforto térmico entre 22,5 °C a 25,5 °C da NBR

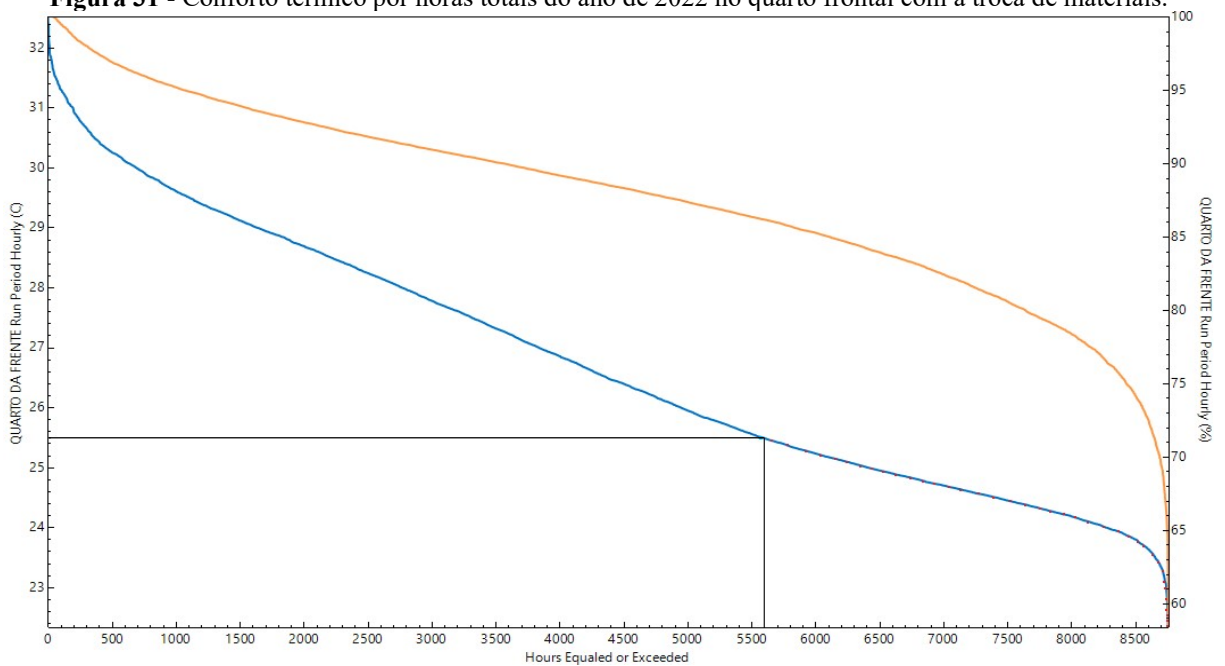
16401-2. A temperatura interna do banheiro (linha azul) vai de 23,03 °C a 31,9 °C, logo, o banheiro apresentou 1.260 horas (14,38%) anuais dentro dos padrões de conforto térmico de um total de 8.760 horas, representado com linhas pretas na horizontal, vertical e pontos vermelhos.



Fonte: Autor, (2023).

Nota-se na Figura 31 a umidade relativa (linha laranja) no quarto frontal vai de 58,39%, a 100%, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 °C a 25,5 °C. A temperatura interna do quarto frontal (linha azul) vai de 22,33 °C a 32,5 °C. Percebe-se que a temperatura mínima estipulada pela NBR 16401-2 é de 22,5 °C e a temperatura mínima resultante na simulação do quarto frontal é de 22,33 °C, logo a diferença de 0,17 °C do parâmetro da NBR 16401-2 foi considerada como dentro dos padrões térmicos, devido as horas medidas para essa mínima serem imperceptíveis no próprio gráfico. Com isso, o quarto frontal apresentou 3.160 horas (36,07%) anuais dentro dos padrões de conforto térmico de um total de 8.760 horas, representado com linhas pretas na horizontal, vertical e pontos vermelhos.

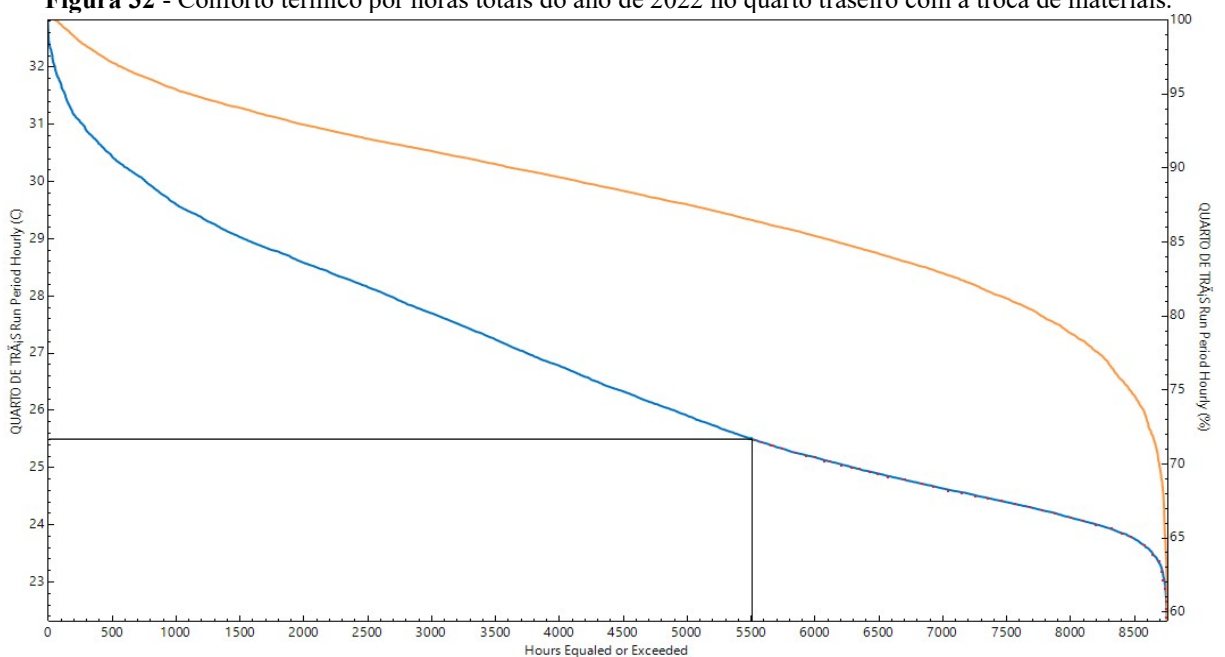
Figura 31 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 no quarto frontal com a troca de materiais.



Fonte: Autor, (2023).

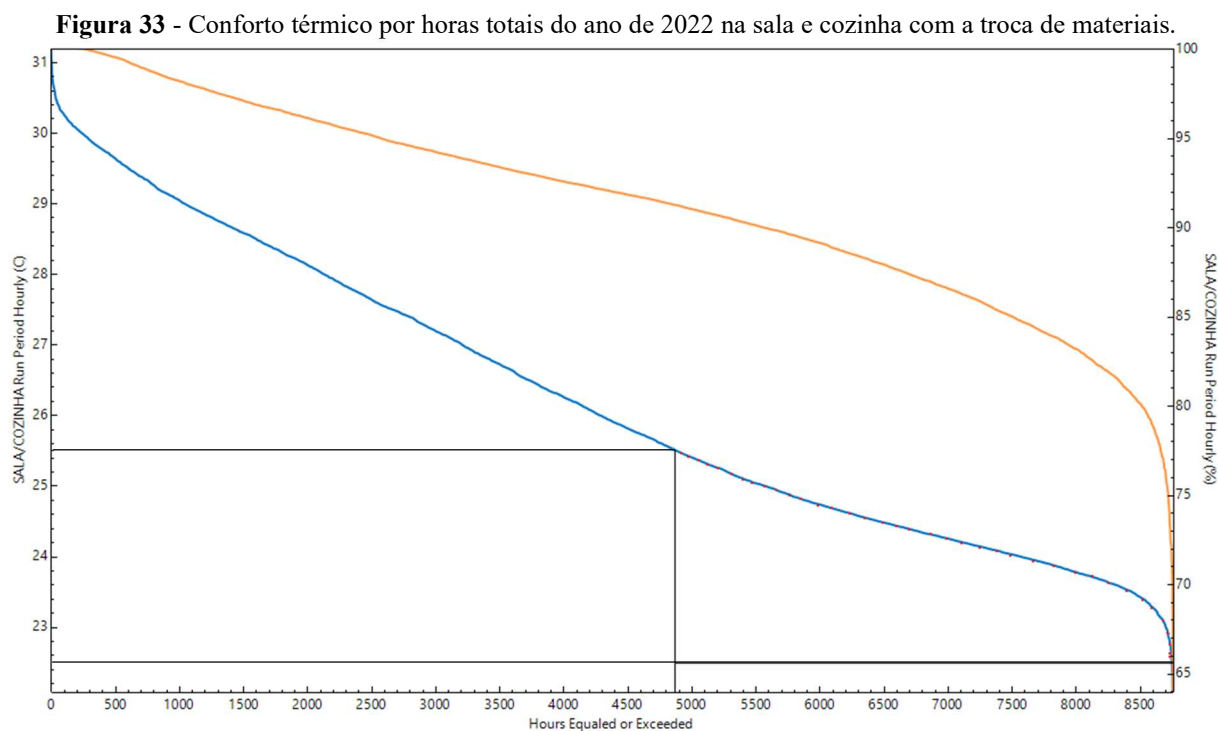
Na Figura 32 a umidade (linha laranja) no quarto traseiro vai de 59,39% a 100%, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 °C a 25,5 °C da NBR 16401-2. A temperatura interna do quarto traseiro (linha azul) vai de 22,31 °C a 32,82 °C. Os 0,19 °C de diferença do parâmetro da NBR 16401-2 para a temperatura mínima foi considerado como dentro dos padrões térmicos. Com isso, o quarto traseiro apresentou 3.260 horas (37,21%) anuais dentro dos padrões térmicos, representado com linhas pretas na horizontal, vertical e pontos vermelhos.

Figura 32 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 no quarto traseiro com a troca de materiais.



Fonte: Autor, (2023).

Nota-se na Figura 33 a umidade relativa (linha laranja) na cozinha e sala vai de 63,97% a 100%, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 °C a 25,5 °C da NBR 16401-2. A temperatura interna da sala e cozinha (linha azul) vai de 22,08 °C a 31,19 °C, logo, a sala e cozinha apresentaram 3.820 horas (43,60%) anuais dentro dos padrões de conforto térmico de um total de 8.760 h, representado com linhas pretas na horizontal, vertical e pontos vermelhos.



Fonte: Autor, (2023).

5.3 Análise dos Resultados das Simulações com os Materiais Padrão e com os Materiais Sugeridos

A troca dos materiais propostos na própria planta baixa se dá com o objetivo de diminuir a temperatura interna do ar na casa popular e conseqüentemente aumentando o período em horas anuais de conforto térmico na casa.

No banheiro com os materiais originários da planta baixa o conforto térmico apresentou 510 horas (5,82%) do ano de 2022, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 1.260 horas (14,38%).

No quarto frontal com os materiais propostos pela própria planta baixa o conforto térmico apresentou 2.160 horas (24,65%) do ano de 2022, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.160 horas (36,07%).

No quarto traseiro com os materiais tradicionais da planta baixa o conforto térmico apresentou 2.340 horas (26,71%) do ano de 2022, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.260 horas (37,21%).

Na sala e cozinha com os materiais da planta baixa o conforto térmico apresentou 3.010 horas (34,36%) do ano de 2022, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.820 horas (43,60%).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento numérico apresentado neste trabalho simulou sob a perspectiva do desempenho térmico estrutural, uma moradia popular, destinada a famílias de baixa renda. Por se tratar de um projeto relativamente novo, aprimoramentos devem ser constantes visando a melhoria de vida dos moradores.

Na primeira simulação utilizou-se o padrão dimensional e construtivo da planta baixa resultando em uma temperatura interna do ar no banheiro com uma média anual de 28,02 °C, mínima de 23,43 °C, máxima de 32,89 °C e um desvio padrão de 1,6 °C. Uma temperatura média anual no quarto frontal de 27,25 °C, mínima de 22,69 °C, máxima de 32,64 °C e um desvio padrão de 1,99 °C. Uma temperatura média anual no quarto traseiro de 27,18 °C, mínima de 22,67 °C, máxima de 32,76 °C e um desvio padrão de 2,03 °C. Uma temperatura média anual na sala e cozinha de 26,76 °C, mínima de 22,41 °C, máxima de 31,69 °C e um desvio padrão de 1,96 °C.

Na segunda simulação onde ocorreu a troca do bloco de concreto e janelas de alumínio por tijolo cerâmico e janela de madeira, o banheiro apresentou uma temperatura média anual de 27,39 °C, uma mínima de 23,03 °C, máxima de 31,9 °C e um desvio padrão de 1,66 °C. O quarto frontal apresentou uma temperatura média anual de 26,77 °C, uma mínima de 22,33 °C, máxima de 32,5 °C e um desvio padrão de 2,10 °C. O quarto traseiro apresentou uma temperatura média anual de 26,73 °C, uma mínima de 22,31 °C, máxima de 32,82 °C e um desvio padrão de 2,15 °C. A sala e cozinha apresentam uma temperatura média anual de 26,23 °C, uma mínima de 22,08 °C, máxima de 31,19 °C e um desvio padrão de 2,01 °C.

Em ambas as simulações a sala e cozinha sempre apresentaram estar por mais horas dentro dos padrões de conforto térmico e o banheiro as menores horas em conforto térmico, os quartos tiveram temperaturas próximas umas das outras.

O levantamento financeiro com a troca de materiais não foi feito devido a planta não apresentar o quantitativo de blocos de concreto necessário em cada parede, mas estima-se uma redução de custos devido o bloco de concreto ser mais caro que o tijolo cerâmico de acordo com o catálogo de preços da C&C (casa e construção).

Com a substituição de materiais, o banheiro aumentou seu conforto térmico em 750 horas (8,56%) no ano de 2022. O quarto frontal aumentou seu conforto térmico em 1.000 horas (11,41%). O quarto traseiro aumentou seu conforto térmico em 1.480 horas (16,89%). A sala e cozinha aumentaram seu conforto térmico em 810 horas (9,24%).

A escolha dos componentes construtivos de uma edificação é de fundamental

importância, principalmente em locais caracterizados pelo clima quente e seco. Diante de tais características, o uso da inércia térmica se apresenta como uma das principais estratégias de condicionamento passivo durante o verão, uma vez que a capacidade térmica dos materiais pode ser usada para reduzir a produção de calor interno durante o dia. A ventilação seletiva também é uma estratégia recomendada. Através do uso dessa estratégia, o movimento do ar é reduzido nos períodos quentes do dia e os ventos são captados à noite, quando a temperatura do ar é menor, contribuindo para o resfriamento da estrutura (MACIEL, 2002).

Com o auxílio de ferramentas de simulação, torna-se possível verificar quais os períodos críticos de aquecimento e resfriamento da edificação, determinando-se o número de graus/horas correspondentes a esses períodos, orientando o projetista na escolha adequada dos elementos construtivos e das estratégias de ventilação. Consequentemente, facilita-se um desempenho energético eficiente das edificações, através da definição de estratégias bioclimáticas baseadas na investigação de seu desempenho térmico. Desse modo, o atendimento das exigências de conforto pode ser desvinculado da utilização excessiva de equipamentos mecânicos de refrigeração e iluminação, nem sempre acessíveis financeiramente à maioria da população (SCHILLER *et al*, 2002).

O objetivo dessa pesquisa foi alcançado, pois foi possível expressar através do uso do *Energyplus*, *Openstudio* e *Sketchup* a viabilidade de simular e gerar resultados sobre o desempenho térmico de uma edificação, mostrando que a aplicação de elementos construtivos confeccionados com materiais alternativos na edificação resultou em melhores resultados de conforto térmico, em detrimento da aplicação de elementos construtivos tradicionais.

6.1 Sugestões Para Trabalhos Futuros

- Realizar simulações numéricas com a mesma planta baixa em outras cidades, situadas em locais diferentes, comparando as temperaturas da estrutura habitacional em ambientes climáticos diferentes.
- Efetuar modificações dimensionais na planta baixa visando a melhoria do conforto térmico estrutural, como ampliação das janelas e blocos vazados melhorando a renovação do ar no ambiente.
- Dimensionar por meio do sistema HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*) do *Energyplus* a climatização ideal para a casa popular tanto para o modelo com os materiais padrões e com a troca de materiais.

- Utilizar a mesma base deste trabalho para realizar estudos térmicos estruturais em apartamentos do programa Minha Casa Minha Vida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1** - Instalações de ar-condicionado - sistema centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2** - Instalações de ar-condicionado - sistema centrais e unitários, parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto 02:135.07-001/2**: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, set de 2003.
- ARQUIVOS CLIMÁTICOS DA CIDADE DE BELÉM-PA, 2023. **Weather Data by country. South America (WMO Region 3) – Brazil**. Disponível em: https://energyplus.net/weather-region/south_america_wmo_region_3/BRA. Acesso em: 1 de novembro de 2022.
- ASHRAE, **Fundamentals Handbook**. Atlanta. 2021.
- BORGES, L. S. **Simulação numérica da temperatura do ar em um edifício com materiais construtivos alternativos**. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.
- BRISOLA C. O. **Análise dos dados meteorológicos da cidade de Belém-PA**. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.
- BRITO, A. C. SALES, E. M., CASTRO, G. M. AKUTSU. M. **Análise da resposta do programa EnergyPlus para simulação do comportamento térmico de recinto com materiais de mudança de fase**. Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade, São Paulo, SP, 2015.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Cadernos CAIXA Projeto padrão – casas populares 42m² GIDUR/VT**. Vitória - ES. janeiro de 2007. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/Downloads/banco-projetos-projetos-HIS/casa_42m2.pdf/. Acesso em: 29 de Dez de 2022.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Habitação de Interesse social**. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/negocios-sustentaveis/habitacao-sustentavel/habitacao-social/Paginas/default.aspx> />. Acesso em: 25 de Jun de 2022.
- C&C. **Preços de tijolos cerâmicos e blocos de concreto**. disponível em: <https://www.cec.com.br/material-de-construcao/blocos-e-tijolos/>. Acesso em: 16/01/2023.
- DEPARTMENT OF ENERGY. U.S. **Engineering Reference**. Estados Unidos, 2022.
- ENERGYPLUS. Versão 22.2.0. Disponível em: <https://energyplus.net/>. Acesso em: 29 Dez. 2022.
- FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico**. 5a edição. Studio Nobel. São Paulo ,2001.
- GOMES, G. F. N. **Análise sobre desempenho térmico estrutural**. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

GOOGLE MAPS. Casas do conjunto habitacional Juritis em Benevides-PA. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/Conjunto+Habitacional+Juritis/@-1.3474227,-48.242982,18.5z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x705e2fbc0cf52c20!8m2!3d-1.3466291!4d-48.24227/>>. Acesso em: 14/12/23.

MACIEL, A. (2002). **Projeto bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritórios**. Dissertação. 138f. Mestrado em Engenharia Civil. Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Santa Catarina, Brasil.

NOBRE, J. C. A. **Análise e Simulação Numérica sobre Desempenho Térmico Estrutural em um Auditório Utilizando o Software Energyplus**. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

NOBRE, J.C.A. ; SOUSA, D.L.P ; RIBEIRO, F.S. ; ANDRADE, L.C.F. “**Simulação Computacional Sobre Desempenho Térmico em uma Residência Conjunta Localizada em Ananindeua-PA**”. The Journal of Engineering and Exact Sciences, Estado do Pará, v.8, n.5, (pg 1-14), Abril, 2022.

OPENSTUDIO v3.3.0. Disponível em: <https://openstudio.net/>. Acesso em: 22 de dez de 2022.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/>. Acesso em 4 de maio de 2023.

PARSONS K. 2014. **Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance**. 1 ed. CRC press. 545p.

SILVA, M. G. **Geração de perfis climáticos sobre radiação solar e temperatura do ar em Belém do Pará**. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

SIQUEIRA, P. M. **Análise sobre desempenho térmico em duas capitais brasileiras**. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

SOUSA, D. L. P. **Análise do Desempenho Térmico de um Edifício utilizando o Software Energyplus**. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

SOUSA, D.L.P ; NOBRE, J.C.A. ; ANDRADE, L.C.F. “**Análise Térmica de Bases de Dados Climáticos da Cidade de Belém-PA**”. The Journal of Engineering and Exact Sciences, Estado do Pará, v.8, n.3, (pg 1-12), Maio de 2022.

SCHILLER, S. de. et al (2002). **Relevancia de ‘proyectos demostrativos’ de bajo impacto ambiental y eficiencia energética**. Curso de Diseño y Urbanismo, Centro de Investigación Habitat e Energía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

SKETCHUP. Versão 19.0.685. Disponível em: <https://www.sketchup.com/pt-BR>. Acesso em: 20 dez de. 2022.

TAYLOR, R. D., C.O. PEDERSEN, L.K. LAWRIE. 1990. **Simultaneous Simulation of Buildings and Mechanical Systems in Heat Balance Based Energy Analysis Programs, Proceedings of the 3rd International Conference on System Simulation in Buildings**, Liege, Belgium, December 3-5, 1990.

TOLEDO, L. C.; VRCIBRADIC, P.; NATIVIDADE, V. **Repensando as Habitações de Interesse Social**. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2014.