



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

**JONAS RIBEIRO VIEIRA**

**ANÁLISE NUMÉRICA SOBRE CONFORTO TÉRMICO EM UM EDIFÍCIO DO  
PROGRAMA NACIONAL MINHA CASA MINHA VIDA EM CAMPINAS-SP**

**ANANINDEUA-PA**

**2023**

JONAS RIBEIRO VIEIRA

**ANÁLISE NUMÉRICA SOBRE CONFORTO TÉRMICO EM UM EDIFÍCIO DO  
PROGRAMA NACIONAL MINHA CASA MINHA VIDA EM CAMPINAS-SP**

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 Claudio Fialho Andrade.

ANANINDEUA-PA

2023

## ERRATA

VIEIRA, J. R. **Análise numérica sobre conforto térmico em um edifício do programa nacional minha casa minha vida em campinas-SP**. Orientador: Prof. Dr. Luiz Claudio Fialho Andrade. 2023. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Ananindeua-PA, 2023.

FOLHA	LINHA	ONDE SE LÊ	LEIA-SE
12	27	Fisiológicas	Parâmetros de ocupação
17	12	A Figura 2 apresenta a planta baixa da casa	A Figura 2 apresenta a planta baixa da casa com dimensões em metros
19	6	Alumínios	Alumínio
26	Figura 7 (legenda)	Umidade relativa do ar (%) do banheiro	Umidade relativa do ar (%) do banheiro

JONAS RIBEIRO VIEIRA

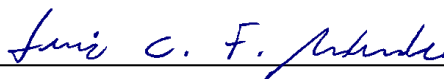
**ANÁLISE NUMÉRICA SOBRE CONFORTO TÉRMICO EM UM EDIFÍCIO DO  
PROGRAMA NACIONAL MINHA CASA MINHA VIDA EM CAMPINAS-SP**

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.

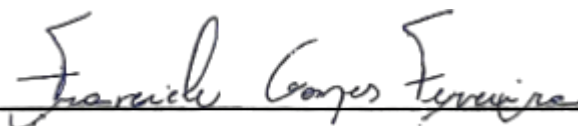
Orientador: Prof. Dr. Luiz Claudio Fialho Andrade.

APROVADO EM: 27/10/2023

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Luiz Cláudio Fialho Andrade  
Orientador – FACT/UFPA



Profª. M.Sc. Franciele Gomes Ferreira  
Examinador Interno – FACT/UFPA



B.Sc. Jean Carlos de Almeida Nobre  
Examinador Externo – FACT/UFPA



B.Sc. David Lohan Pereira de Sousa  
Examinador Externo – FACT/UFPA



B.Sc. Larissa dos Santos Borges  
Examinador Externo – FACT/UFPA

**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)**

---

V657a Vieira, Jonas Ribeiro.  
Análise Numérica Sobre Conforto Térmico em um Edifício  
do Programa Nacional Minha Casa Minha Vida em Campinas-SP  
/ Jonas Ribeiro Vieira. — 2023.  
29 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. Simulação Computacional. 2. desempenho  
térmico . 3. energy plus. I. Título.

CDD 621.402

---

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar a Deus, que me deu forças para vencer os desafios.

A meu pai que deu a mim todo apoio necessário e sempre me incentivou nos meus estudos.

A minha mãe que sempre me apoiou em todos meus sonhos e sempre foi minha conselheira.

Aos meus familiares que de forma direta e indireta me ajudaram nessa caminhada acadêmica.

Agradeço a Universidade Federal do Pará pela oportunidade de ingressar na educação pública e participar da grande experiência com um ensino superior de qualidade.

A Faculdade de Ciência e Tecnologia e todos os membros do seu corpo técnico e docente.

Ao meu orientador Professor Dr. Luiz Claudio Fialho Andrade pela oportunidade de trabalhar com ele, assim desenvolvendo experiência universitária na pesquisa, estudo e produção.

A turma de CeT 2019 que com união, suporte e entendimento, passamos juntos por essa jornada.

Aos veteranos da turma de CeT 2018 que dividiram a sabedoria e deram todo apoio necessário, em especial para, os Bacharéis; Jean C. A. Nobre, David L. P. Sousa e Larissa S. Borges.

## RESUMO

O programa Minha Casa Minha Vida busca abordar questões habitacionais para a população de baixa renda no Brasil, porém o Residencial Mandela em Campinas-SP tem sido criticado pela inadequação das habitações. Este estudo analisa o conforto térmico em uma dessas habitações para o ano de 2022, usando simulações computacionais e a norma NBR 16.401-2 (2008) como referência. Em condições sem ocupantes, a habitação atendeu aos padrões de conforto térmico em cerca de 25,68% das horas para a sala-cozinha e 27,40% para o banheiro. No entanto, com o acréscimo de ocupantes, houve aumento na temperatura interna da casa, diminuindo as horas anuais que o ambiente se manteve nos dentro dos parâmetros de conforto térmico. O estudo destaca a importância das simulações para melhorar o projeto de habitações para a população de baixa renda.

**Palavras-chave:** Simulação Computacional; Conforto térmico; *EnergyPlus*

## **ABSTRACT**

The Minha Casa Minha Vida program seeks to address housing issues for the low-income population in Brazil, but the Residential Mandela in Campinas-SP has been criticized for the inadequacy of housing. This study analyzes the thermal comfort in one of these dwellings for the year 2022, using computer simulations and NBR 16.401-2 (2008) as a reference. In conditions without occupants, housing met the standards of thermal comfort in about 25.68% of the hours for the living room-kitchen and 27.40% for the bathroom. However, with the increase of occupants, there was an increase in the internal temperature of the house, reducing the annual hours that the environment remained in within the parameters of thermal comfort. The study highlights the importance of simulations to improve housing design for the low-income population.

**Keywords:** Computational Simulation; Thermal Comfort; EnergyPlus.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Corte longitudinal da casa.....	17
<b>Figura 2</b> – Planta baixa da casa.....	18
<b>Figura 3</b> – Modelo 3D criado no <i>SketchUp 2021 v21.0.391</i> .....	18
<b>Figura 4</b> – Estruturas habitacionais construídas.....	18
<b>Figura 5</b> – Comparação das umidades relativas do ar na sala-cozinha.....	24
<b>Figura 6</b> – Comparação das temperaturas do ar na sala-cozinha.....	25
<b>Figura 7</b> – Curva de duração por horas da umidade relativa do ar do banheiro ..	26
<b>Figura 8</b> – Curva de duração por horas da temperatura do banheiro .....	27

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Propriedades térmicas dos materiais .....	19
<b>Tabela 2</b> – Dados climáticos anuais da cidade de Campinas-SP .....	21
<b>Tabela 3</b> – Umidade relativa do ar e temperatura da sala-cozinha sem pessoas .....	21
<b>Tabela 4</b> – Umidade relativa do ar e temperatura da sala-cozinha com quatro pessoas .....	22
<b>Tabela 5</b> – Umidade relativa do ar e temperatura da sala-cozinha com sete pessoas .....	23
<b>Tabela 6</b> – Umidade relativa do ar e temperatura do banheiro sem pessoas .....	25

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
CTF	<i>Conduction Transfer Functions</i>
HBM	<i>Heat Balance Method</i>
TMY	<i>Typical Meteorological Year</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 CONFORTO TÉRMICO.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 NORMA REGULAMENTADORA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 MÉTODO DE CÁLCULO.....</b>	<b>13</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 PARÂMETROS DE ANÁLISE.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 PLANTA BAIXA: DADOS ESTRUTURAIS E TÉRMICOS DOS MATERIAIS.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 SIMULAÇÃO NUMÉRICA.....</b>	<b>19</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>5.1 DADOS DO ARQUIVO CLIMÁTICO.....</b>	<b>20</b>
<b>5.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DA ZONA TÉRMICA DA SALA-COZINHA .....</b>	<b>21</b>
<b>5.2.1 ZONA TÉRMICA DA SALA-COZINHA SEM PESSOAS .....</b>	<b>21</b>
<b>5.2.2 ZONA TÉRMICA DA SALA-COZINHA COM QUATRO PESSOAS .....</b>	<b>22</b>
<b>5.2.3 ZONA TÉRMICA DA SALA-COZINHA COM SETE PESSOAS .....</b>	<b>23</b>
<b>5.2.4 ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO DA SALA-COZINHA .....</b>	<b>24</b>
<b>5.3 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DA ZONA TÉRMICA DO BANHEIRO.....</b>	<b>27</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>27</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>28</b>

## ANÁLISE NUMÉRICA SOBRE CONFORTO TÉRMICO EM UM EDIFÍCIO DO PROGRAMA NACIONAL MINHA CASA MINHA VIDA EM CAMPINAS-SP ODS (9)

Jonas Ribeiro Vieira (Universidade Federal do Pará)  
Jean Carlos de Almeida Nobre (Universidade Federal do Pará)  
David Lohan Pereira de Sousa (Universidade Federal do Pará)  
Larissa dos Santos Borges (Universidade Federal do Pará)  
Luiz Claudio Fialho Andrade (Universidade Federal do Pará)

### Resumo

O programa Minha Casa Minha Vida é uma iniciativa do Governo Federal e tem como objetivo principal abordar questões habitacionais para a população de baixa renda no Brasil, contribuindo para a redução do déficit de moradias. No entanto, recentemente, o projeto do Residencial Mandela, uma parte do programa Minha Casa Minha Vida em Campinas-SP, tem sido criticado por oferecer estruturas habitacionais consideradas inadequadas para famílias de baixa renda. O espaço limitado, com áreas tão pequenas quanto 15 m<sup>2</sup> para famílias com até sete pessoas, tem gerado polêmica e preocupações quanto ao conforto dessas habitações. Este estudo se concentra na análise numérica sobre conforto térmico em uma das habitações do Residencial Mandela, para o ano de 2022. O conforto térmico é crucial para o bem-estar das pessoas, afetando diretamente sua produtividade e saúde. Esta pesquisa utiliza a norma regulamentadora NBR 16.401-2 (2008) como referência, que estabelece faixas de temperaturas internas (22,5 – 25,5 °C) para garantir o conforto térmico. Para avaliar o desempenho térmico, foram realizadas simulações computacionais considerando diferentes cargas de ocupação. O *software EnergyPlus* foi utilizado, considerando as características estruturais da habitação, o cronograma de atividades e os dados climáticos locais. Foram criadas duas zonas térmicas para análise: sala-cozinha e banheiro. Os resultados das simulações foram comparados com os padrões estabelecidos pela norma NBR 16.401-2 (2008). Constatou-se que, em condições de ausência de ocupantes, a habitação atendia o equivalente a 25,68% das horas anuais para sala-cozinha e 27,40% das horas anuais para o banheiro, dentro dos parâmetros de conforto térmico. No entanto, com a presença de quatro e sete pessoas na sala-cozinha, houve uma diminuição nas horas anuais dentro desses parâmetros, indicando possíveis desafios de conforto térmico em situações de maior ocupação. A pesquisa demonstra a importância das simulações numéricas na avaliação do desempenho térmico de edifícios, destacando como essas ferramentas podem ser valiosas para melhorar o projeto e a eficiência energética das habitações. Esses estudos são fundamentais para garantir o bem-estar e a qualidade de vida dos ocupantes, especialmente em projetos habitacionais destinados à população de baixa renda.

**Palavras-chave:** Simulação Computacional. Desempenho Térmico. Conforto térmico. *EnergyPlus*.

### Introdução

O programa Minha Casa Minha Vida é uma iniciativa do Governo Federal que visa principalmente implementar políticas para proporcionar moradia adequada à população de baixa renda, contribuindo assim para a redução do *déficit* habitacional no Brasil. O programa envolve a participação de instituições privadas ligadas ao setor habitacional, agentes financeiros autorizados pelo Conselho Monetário Nacional e a Caixa Econômica Federal, entre outros. Através de iniciativas como o Minha Casa Minha Vida, as pessoas de baixa renda têm a oportunidade de adquirir habitações com prestações compatíveis com suas possibilidades financeiras (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2022).

O ambiente térmico interno desempenha um papel crucial não apenas no consumo de energia, mas também na maneira como se experimenta e assimila essas vivências. Isto é, além das implicações energéticas, podem surgir efeitos na produtividade, saúde física e emocional, bem como o bem-estar do indivíduo. Dada a relevância das condições térmicas em uma estrutura, é imperativo levá-las em consideração ao planejar ou melhorar edificações, visando torná-las mais aconchegantes e eficazes.

Várias reportagens e postagens em meios virtuais recentes tratam o projeto do Residencial Mandela do programa Minha Casa Minha Vida em parceria com a prefeitura municipal de Campinas-SP como “casa embrião” e criticam a estrutura habitacional destinadas a moradores de baixa renda (ALVES, 2023; TAGLIANE, 2023). Segundo a Alves e Sampi (2023) as casas receberão em média quatro ocupantes, mas há famílias com até sete pessoas que irão dividir um espaço de aproximadamente 15 m<sup>2</sup>.

Nesta pesquisa realizou-se uma análise numérica sobre conforto térmico em um edifício do programa governamental Minha Casa Minha Vida, na cidade de Campinas-SP, para o ano de 2022, adotando duas zonas térmicas, variáveis estruturais e fisiológicas dentro da estrutura.

## **Revisão da literatura**

### **Conforto térmico**

O conforto térmico representa a avaliação psicológica de satisfação de uma pessoa em relação à temperatura do ambiente onde se encontra. A falta de contentamento com o ambiente térmico pode surgir quando há desconforto devido ao

excesso de calor ou frio, ocorrendo quando não existe um equilíbrio térmico estável, ou seja, quando há discrepâncias entre o calor gerado pelo corpo humano e o calor que é dissipado para o ambiente (ASHRAE, 2021).

Segundo Fanger (1970) para alcançar o conforto térmico, é necessário que uma pessoa não sinta calor ou frio excessivo. Essa condição é alcançada através da interação do corpo humano com o ambiente, que ocorre por meio dos processos de condução, convecção, radiação e transferência de massa.

O conforto térmico é de grande relevância na vida cotidiana, pois influencia diretamente o desempenho e a eficácia pessoal na realização de tarefas, ao mesmo tempo em que, a ausência dele, pode desencadear ou agravar problemas de saúde. Portanto, a sensação de conforto térmico desempenha um papel essencial em qualquer local onde as pessoas vivem ou trabalham.

### Norma regulamentadora

A norma regulamentadora, NBR 16.401-2 (2008), representa uma atualização que substitui a antiga NBR 16.401-2 de 1980. Ela aborda o projeto de sistemas de ar-condicionado (parte 1), os critérios de conforto térmico em ambientes climatizados (parte 2) e a qualidade do ar interior (parte 3). Essa norma é particularmente específica quando se trata das configurações que definem o conforto térmico em espaços internos. Ela estabelece faixas de temperaturas internas que variam de 22,5 °C a 25,5 °C, com umidade relativa de 65%, e de 23,0 °C a 26,0 °C, com umidade relativa de 35%.

### Método de cálculo

De acordo com o *Department of Energy U.S.* (2022), o processo fundamental para a integração do sistema de zona e ar envolve a criação de balanços de energia e umidade na zona de ar, seguido da resolução das equações diferenciais ordinárias resultantes através do uso de um método preditor-corretor de aproximação. O esquema de solução tem início com a elaboração de um balanço de calor no ar da zona, conforme demonstrado na 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;

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i$  = 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;

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

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

$Q_{sys}$  = sistemas de saída de ar;

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

$\rho_{air}$  = densidade do ar na zona;

$C_p$  = calor específico do ar na zona;

$C_t$  = multiplicador de capacidade de calor sensível.

O método de cálculo utilizado pelo *software EnergyPlus* é o método de balanço de calor. De acordo com a ASHRAE (2013), o Método de Balanço de Calor (HBM) é considerado um dos métodos mais avançados e confiáveis para calcular a carga térmica de edifícios. A base fundamental desse método envolve a realização de um cálculo de energia para todas as superfícies do ambiente e um cálculo de energia para o ar interno, permitindo assim a identificação dos ganhos de calor que efetivamente contribuem para a carga térmica.

De acordo com McQuiston, Parker e Spitler (2005), essas equações de balanço de energia são integradas com equações que descrevem a transferência de calor através das paredes e tetos ao longo do tempo, juntamente com algoritmos ou informações meteorológicas que incluem dados como temperatura do ar externo, temperatura de bulbo úmido, radiação solar, entre outros.

O componente de radiação solar, incluindo a radiação de comprimento de onda curta direta e difusa, é influenciado pela orientação geográfica do edifício, as características dos materiais utilizados e as condições climáticas locais. O cálculo do balanço de calor na superfície externa de cada elemento pode ser representado de acordo com a Equação 2.

$$q''_{sol} + q''_{LWR} + q''_{conv} + q''_{ko} = 0 \quad (2)$$

Onde:

$q''_{\infty sol}$ : fluxo de radiação solar direta e difusa assimilada [W/m<sup>2</sup>];

$q''_{LWR}$ : fluxo de calor por radiação de onda longa entre o ar e os arredores [W/m<sup>2</sup>];

$q''_{conv}$ : fluxo de troca de calor por convecção com o ar externo [W/m<sup>2</sup>];

$q''_{ko}$ : fluxo de calor por condução (parede) [W/m<sup>2</sup>].

O balanço de calor envolvendo as áreas internas das zonas térmicas é a parte primordial do HBM (PEDERSEN; FISHER; LIESEN, 1997). O balanço de calor interno para cada face pode ser escrito como mostra a Equação 3.

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{ki} + q''_{sol} + q''_{conv} = 0 \quad (3)$$

Onde:

$q''_{LWX}$ : fluxo líquido de radiação através das superfícies internas [W/m<sup>2</sup>];

$q''_{SW}$ : fluxo líquido de radiação das lâmpadas para superfícies [W/m<sup>2</sup>];

$q''_{LWS}$ : fluxo radiante dos equipamentos [W/m<sup>2</sup>];

$q''_{ki}$ : fluxo de condução mediante a parede [W/m<sup>2</sup>];

$q''_{sol}$ : fluxo de radiação solar absorvida e transmitida [W/m<sup>2</sup>];

$q''_{conv}$ : fluxo de calor convectivo para o ar interno [W/m<sup>2</sup>].

De acordo com Pedersen, Fisher e Liesen (1997) o processo de condução através das paredes é modelado usando as funções de transferência de condução (CTF). Essas funções estabelecem uma relação entre os fluxos de calor por condução e as temperaturas das superfícies no momento presente e no passado, bem como os fluxos de calor anteriores.

As equações simples para calcular a condução por meio das funções de transferência de condução (CTF) são apresentadas na Equação 4 e na Equação 5.

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad (4)$$

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko,t-j\delta} \quad (5)$$

Onde:

$X_j$ : coeficiente externo CTF,  $j = 0, 1, \dots, nz$ ;

$Y_i$ : coeficiente de transição CTF,  $j = 0, 1, \dots, nz$ ;

$Z_j$ : coeficiente interno CTF,  $j = 0, 1, \dots, nz$ ;

$\Phi_j$ : coeficiente de fluxo CTF,  $j = 1, 2, \dots, nq$ ;

$T_i$ : temperatura da superfície interna;

$T_o$ : temperatura da superfície externa;

$q''_{ko}$ : fluxo de condução na superfície externa;

$q''_{ki}$ : fluxo de condução na superfície interna.

Os parâmetros de limite de somatório,  $nz$  e  $nq$ , são considerados tanto na configuração da parede quanto na abordagem utilizada para o cálculo das funções de transferência de condução (CTF). Normalmente, os valores de  $nz$  e  $nq$  são selecionados com a finalidade de reduzir a carga computacional ao mínimo necessário.

## **Materiais e Métodos**

Para avaliar o desempenho térmico, foram introduzidos no *software* os detalhes estruturais da edificação, bem como o cronograma de atividades e os dados de arquivo climático do local. Com base nesses dados, o *software EnergyPlus* cria zonas térmicas para cada área da edificação. Foram criadas duas zonas térmicas, uma foi nomeada de sala-cozinha, a outra de banheiro. Em seguida foram realizadas 3 simulações com cargas distintas de ocupantes, admitindo-se pessoas apenas na zona térmica sala-cozinha, onde os ocupantes passarão a maior parte do tempo. A primeira simulação ocorreu sem ocupantes, a segunda com quatro e terceira com sete. Em seguida, compara-se a temperatura encontrada nessas zonas com os parâmetros estabelecidos pela norma NBR 16.401-2 (2008), a fim de determinar se essas áreas estão em conformidade com os parâmetros de conforto térmico e a representatividade de horas anuais estabelecidos pela norma.

Os *softwares* usados neste trabalho foram: *SketchUp 2021 v21.0.391* (versão de testes); *OpenStudio v1.5.0 (Plugin)* e *EnergyPlus 22.2.0*.

## **Parâmetros de Análise**

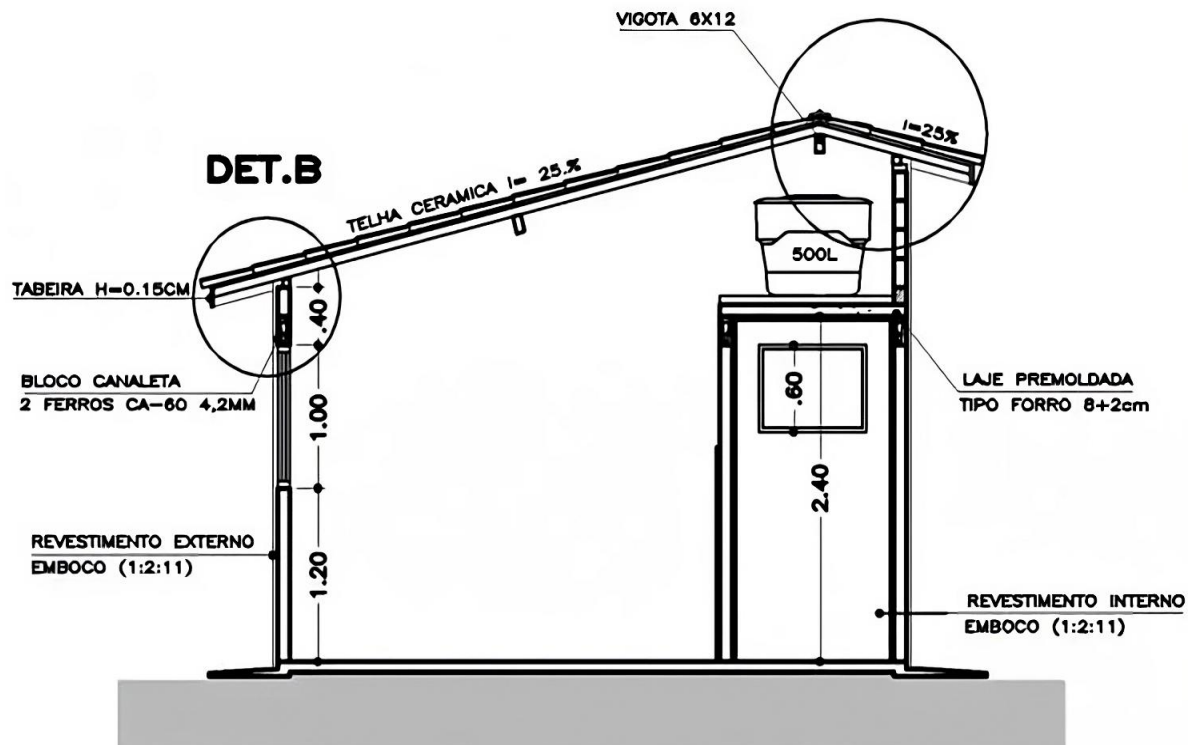
A casa analisada, faz parte do loteamento Residencial Mandela, localizado no DIC 5, distrito do Ouro Verde, próximo ao aeroporto de Viracopos cidade de Campinas-SP, as coordenadas latitude 22°59'07" Sul, longitude 47°07'26" Oeste e altitude 621 m. Os arquivos climáticos usados foram os de Viracopos, Campinas-SP, para o período de análise do ano de 2022.

Para a análise de conforto térmico, foram considerados os dados obtidos das simulações, referentes a temperatura e umidade das zonas térmicas. Utilizou-se, como parâmetro, a norma NBR 16.401-2 (2008).

### Planta baixa: Dados Estruturais e Térmicos dos Materiais

Algumas medidas não foram informadas na planta da casa, assim, adotou-se as medidas convencionais da construção civil. A Figura 1 apresenta o corte longitudinal da casa. A Figura 2 apresenta a planta baixa da casa, a Figura 3 é o modelo 3D projetado no *SketchUp* e a Figura 4 apresenta a casa real.

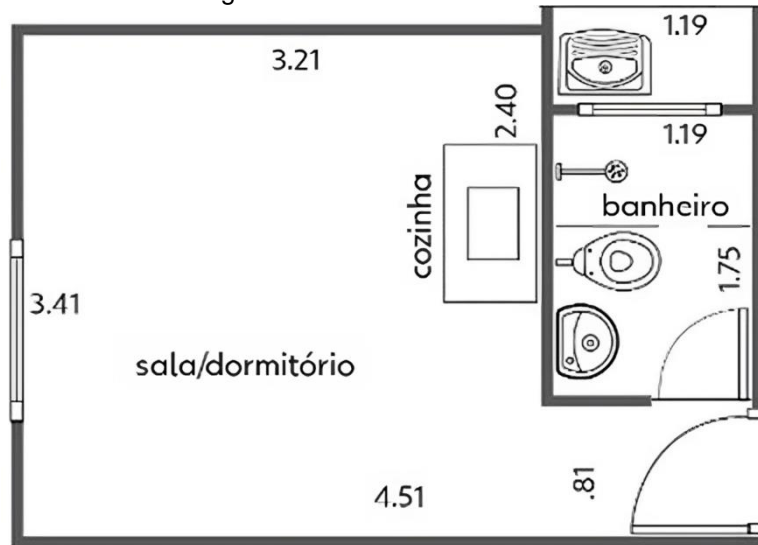
Figura 1 – Corte longitudinal da casa.



### **CORTE LONGITUDINAL B.B.** ESCALA 1:100

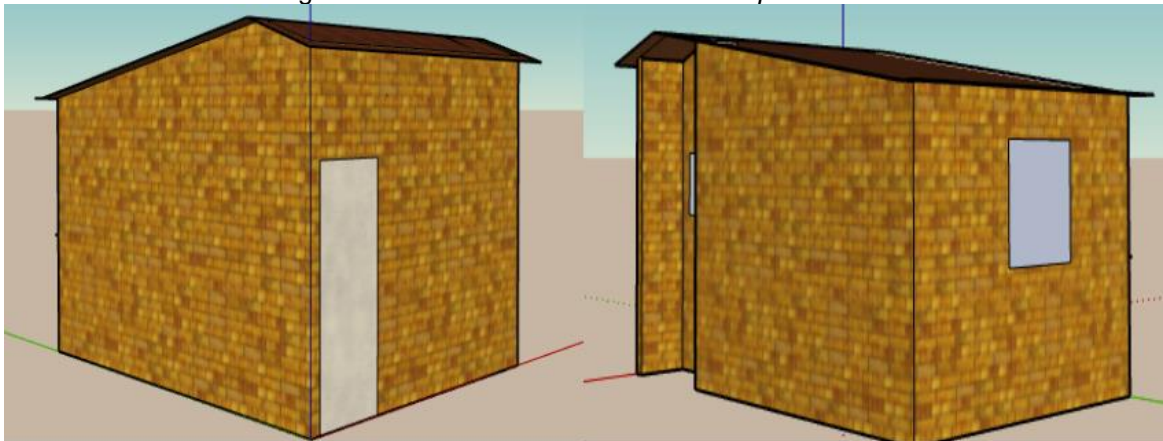
Fonte: OVALE (2023).

Figura 2 – Planta baixa da casa.



Fonte: G1 - Globo (2023).

Figura 3 – Modelo 3D criado no SketchUp 2021 v21.0.391.



Fonte: Próprios autores (2023).

Figura 4 – Estruturas habitacionais construídas.



Fonte: G1 - Globo (2023).

A planta oficial da casa até o momento não foi disponibilizada pela prefeitura de Campinas, logo, para o revestimento da estrutura, foram adotados materiais de construção padrões, como mostra a Tabela 1. Entretanto, como pode-se ver na Figura 4, as casas são compostas basicamente com piso de concreto, tijolos cerâmicos, telhas cerâmicas, madeira para cobertura, reboco de argamassa e portas de alumínio.

Tabela 1 – Propriedades térmicas dos materiais.

Material	Espessura (m)	Condutividade Térmica (W/mK)	Massa Específica (Kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico (J/KgK)
Piso cerâmico	0,010	0,900	1600	920
Argamassa de assentamento	0,015	1,150	1600	1000
Argamassa de gesso	0,007	0,700	1200	840
Reboco de argamassa	0,025	1,150	1800	1000
Laje de concreto	0,200	1,750	2200	1000
Telha cerâmica	0,020	0,700	1000	920
Textura acrílica	0,010	0,400	1300	1000
Porta em alumínio	0,050	230	2700	880
Janela de vidro	0,003	0,900	-	-
Bloco cerâmico	0,100	0,900	1300	920
Vidro comum	0,010	1,000	2500	840
Madeira do Telhado	0,015	0,150	450	1400

Fonte: ABNT – Projeto 02:135.07-001/2, (2003).

### Simulação Numérica

A interface do *EnergyPlus* é conhecida por ser complexa e de difícil utilização, por essa razão, o *software OpenStudio* é associado a ele. Isso é feito para simplificar a operação das funcionalidades do *EnergyPlus* e para atuar como um intermediário entre o *EnergyPlus* e o *Sketchup*, tornando o processo mais acessível e gerenciável.

No *software OpenStudio*, na guia *site*, são incluídos os arquivos climáticos específicos da região de estudo, como o arquivo de Viracopos em Campinas-SP, no formato *TMY (BRA\_SP\_Campinas-Viracopos.Intl.AP.837210\_TMY)*. Esses arquivos

climáticos contêm informações sobre as condições de temperatura, umidade e radiação solar incidente no ambiente.

Na guia *constructions*, são fornecidos detalhes sobre a construção do edifício, incluindo informações sobre o tipo de material utilizado, suas propriedades térmicas e dimensões.

Na guia *space types*, é importado um modelo de edifício padrão do *EnergyPlus*, que representa um escritório convencional.

Na guia *geometry*, é possível visualizar o desenho arquitetônico do edifício, destacando as zonas térmicas em cada ambiente e identificando as áreas em contato com o solo, exposição à radiação solar e ventilação.

Na guia *facility*, o modelo padrão do edifício criado é implementado, adicionando o arquivo na seção *space types* e na seção *construction sets*.

Na guia *spaces*, são inseridos os arquivos padrões para cada área especificada no *software OpenStudio*. Nessa guia é possível adicionar a carga de pessoas na zona térmica.

Após todas as configurações, são selecionadas as variáveis de saída relevantes para análise, sugeridas pelo próprio *software* para simplificar o estudo, na guia *output variables*. Isso inclui variáveis relacionadas à temperatura do ar e umidade relativa do ar, bem como temperatura de bulbo seco e úmido, que têm um impacto significativo na avaliação do conforto térmico.

## Resultados e Discussão

### Dados do arquivo climático

A temperatura de bulbo úmido representa a temperatura mais fria que pode ser atingida exclusivamente através da evaporação da água. É a sensação térmica experimentada quando a pele está encharcada e sujeita à circulação de ar. Observa-se, na Tabela 2, que a média anual da temperatura de bulbo úmido é de 17,69 °C. A temperatura de bulbo seco não leva em conta a evaporação da água e representa a temperatura real do ar. É possível observar, na Tabela 2, que a média anual da temperatura de bulbo seco é de 21,21°C. A radiação solar direta é uma parte da energia solar que atinge a Terra diretamente do Sol, sem ser dispersada ou refletida pela atmosfera terrestre. Na Tabela 2 observa-se que a média da radiação solar direta é de 168,20 W/m<sup>2</sup>. A radiação solar difusa, que é aquela que se espalha em várias

áreas pela atmosfera, tem sua média registrada em 78,10 W/m<sup>2</sup>, como mostra a Tabela 2. Por fim, a média da velocidade do vento registrou-se em 2,12 m/s, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Dados climáticos anuais da cidade de Campinas-SP.

<b>Dados climáticos</b>	<b>Média anual</b>
Bulbo úmido	17,69 °C
Bulbo seco	21,21 °C
Radiação solar direta	168,20 W/m <sup>2</sup>
Radiação solar difusa	78,10 W/m <sup>2</sup>
Velocidade do vento	2,12 m/s

Fonte: Próprios Autores (2023).

## Resultados das simulações da zona térmica da sala-cozinha

### Zona térmica da sala-cozinha sem pessoas

A simulação inicial foi realizada sem a carga de pessoas nas zonas, com o intuito de obter dados para comparar com as simulações da casa com quatro e sete ocupantes no ano de 2022.

A Tabela 3 mostra os dados obtidos, da zona térmica da sala-cozinha, para o período de um ano com a casa sem pessoas. É possível notar que a menor média de umidade relativa do ar foi no mês de agosto alcançando 77,16%, a maior média ficou em 87,84% no mês de janeiro. Logo, é possível estabelecer qual parâmetro de conforto térmico que deve ser utilizado, de acordo com a NBR 16.401-2, é de 22,5 °C a 25,5 °C. Nota-se, também, na Tabela 3 que a menor temperatura foi de 12,60 °C no mês de junho e a maior temperatura foi de 34,35 °C no mês de janeiro. Nota-se que a média total da temperatura no período de um ano, é igual a 24,57°C.

Tabela 3 – Umidade relativa do ar e temperatura da sala-cozinha sem pessoas.

<b>Umidade relativa do ar da zona térmica sala-cozinha (%)</b>					<b>Temperatura do ar da zona térmica sala-cozinha (°C)</b>			
<b>Mês</b>	<b>Méd.</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Méd.</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>	<b>Desvio padrão</b>
<b>Jan</b>	87,84	42,66	100	13,34	26,64	20,72	34,35	3,35
<b>Fev</b>	87,65	47,46	100	13,65	26,13	19,61	33,23	3,53
<b>Mar</b>	85,80	45,86	100	14,47	26,29	18,90	33,94	3,41

<b>Abr</b>	82,73	37,65	100	16,78	25,34	17,89	32,60	3,35
<b>Mai</b>	84,06	36,53	100	15,64	23,54	15,77	32,13	3,63
<b>Jun</b>	81,46	37,85	100	17,18	22,33	12,60	29,98	3,48
<b>Jul</b>	80,46	41,84	100	17,23	21,65	13,18	29,72	3,50
<b>Ago</b>	77,16	27,87	100	20,17	23,04	14,04	31,05	3,98
<b>Set</b>	80,39	39,44	100	17,82	23,85	13,72	31,99	3,82
<b>Out</b>	82,95	40,18	100	16,46	25,33	17,05	33,47	3,66
<b>Nov</b>	87,65	28,19	100	15,92	25,35	18,10	33,01	3,46
<b>Dez</b>	86,67	34,76	100	14,46	25,44	18,25	33,58	3,62
<b>Total</b>	83,71	27,87	100	16,55	24,57	12,60	34,35	3,90

Fonte: Próprios Autores (2023).

### Zona térmica da sala-cozinha com quatro pessoas

A simulação foi realizada contendo a carga de quatro pessoas, que é a média de ocupantes por casa no Conjunto Mandela.

A Tabela 4 mostra os dados obtidos da zona térmica da sala-cozinha para o período de um ano com a casa possuindo quatro ocupantes. Nota-se que a menor média de umidade relativa do ar foi no mês de agosto alcançando 80,82%, já a maior média ficou em 89,33% no mês de novembro. Assim, mantém-se o parâmetro de conforto térmico da NBR 16.401-2, de 22,5 °C a 25,5 °C. Observa-se na Tabela 4 que a menor temperatura na sala-cozinha foi de 12,98 °C no mês de junho e a maior temperatura foi de 35,04 °C no mês de janeiro. Nota-se um aumento na média total da temperatura que agora é igual a 26,25°C, havendo um aumento de 1,68 °C (6,84%) em relação a casa sem pessoas.

Tabela 4 – Umidade relativa do ar e temperatura da sala-cozinha com quatro pessoas.

Umidade relativa do ar da zona térmica sala-cozinha (%)					Temperatura do ar da zona térmica sala-cozinha (°C)			
Mês	Méd.	Mín.	Máx.	Desvio padrão	Méd.	Mín.	Máx.	Desvio padrão
<b>Jan</b>	89,30	42,66	100	13,46	27,93	20,72	35,04	3,95
<b>Fev</b>	89,29	47,43	100	13,62	27,51	19,81	34,49	4,18
<b>Mar</b>	87,70	47,53	100	14,66	27,74	19,15	34,90	4,04
<b>Abr</b>	84,95	37,61	100	17,16	26,84	18,12	34,17	4,11

<b>Mai</b>	86,38	36,47	100	15,91	25,45	15,96	33,89	4,63
<b>Jun</b>	84,18	37,81	100	17,67	24,50	12,98	32,73	4,64
<b>Jul</b>	82,96	41,78	100	17,83	23,78	13,18	32,59	4,76
<b>Ago</b>	80,82	27,83	100	20,75	25,07	14,37	33,38	4,87
<b>Set</b>	83,08	39,45	100	18,44	25,64	13,78	33,88	4,70
<b>Out</b>	85,18	40,14	100	16,75	26,81	17,23	34,62	4,44
<b>Nov</b>	89,33	28,17	100	15,72	26,96	18,33	34,35	4,19
<b>Dez</b>	88,27	34,74	100	14,62	26,86	18,53	34,64	4,28
<b>Total</b>	85,93	27,83	100	16,75	26,25	12,98	35,04	4,60

Fonte: Próprios Autores (2023).

### Zona térmica da sala-cozinha com sete pessoas

A simulação foi realizada com uma carga máxima de sete pessoas.

A Tabela 5 mostra os dados obtidos da zona térmica da sala-cozinha para o período de um ano. Percebe-se que a menor média de umidade relativa do ar foi no mês de agosto alcançando 80,00%, já a maior média ficou em 89,11% no mês de janeiro. A Tabela 5 mostra que a menor temperatura na sala-cozinha foi de 12,51 °C no mês de julho e a maior temperatura foi de 35,48 °C no mês de janeiro. Nota-se um aumento na média total da temperatura que agora é igual a 27,24°C, havendo um acréscimo de 2,67 °C (10,87%) em relação a casa sem pessoas.

Tabela 5 – Umidade relativa do ar e temperatura da sala-cozinha com sete pessoas.

Umidade relativa do ar da zona térmica sala-cozinha (%)					Temperatura do ar da zona térmica sala-cozinha (°C)			
Mês	Méd.	Mín.	Máx.	Desvio padrão	Méd.	Mín.	Máx.	Desvio padrão
<b>Jan</b>	89,11	45,46	100	13,25	28,59	20,78	35,48	4,47
<b>Fev</b>	88,75	48,37	100	13,75	28,37	19,49	35,24	4,61
<b>Mar</b>	88,07	49,51	100	13,60	28,50	18,73	35,45	4,69
<b>Abr</b>	84,99	36,43	100	17,22	27,91	18,28	35,16	4,71
<b>Mai</b>	84,48	28,98	100	16,03	26,44	15,83	34,85	5,27
<b>Jun</b>	82,26	35,75	100	17,75	25,80	13,27	34,41	5,41
<b>Jul</b>	81,49	36,17	100	17,54	24,96	12,51	34,33	5,83
<b>Ago</b>	80,00	31,50	100	19,55	26,21	14,72	34,74	5,61

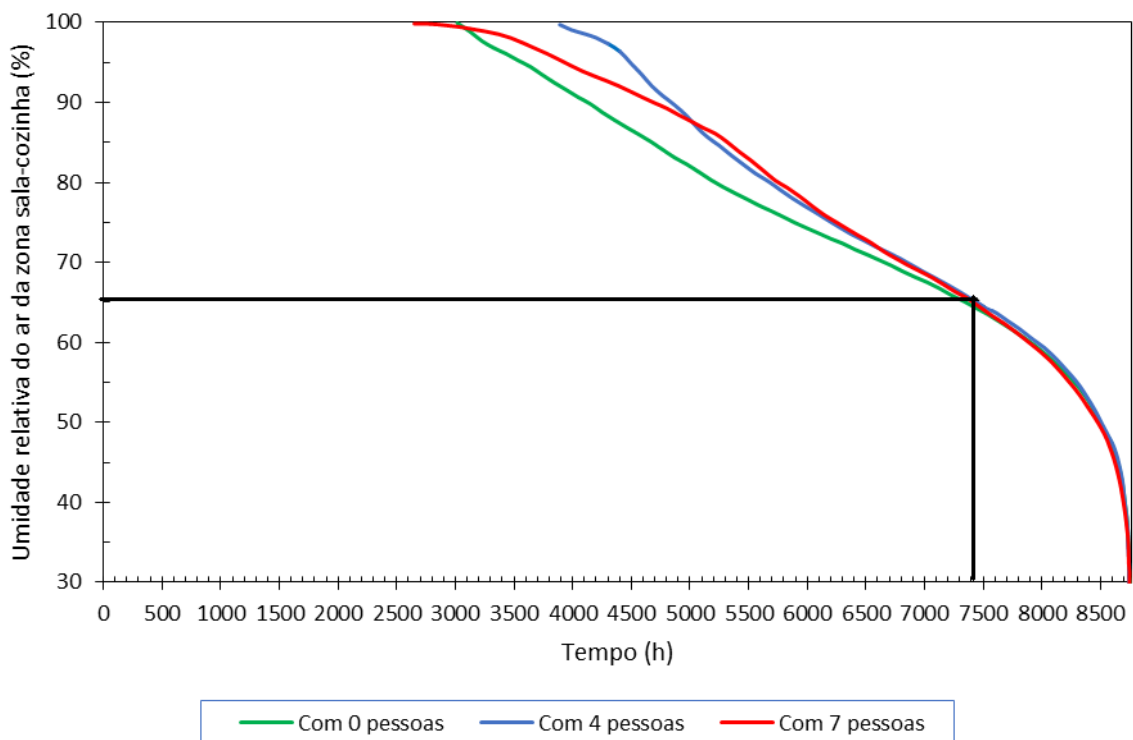
<b>Set</b>	82,79	39,67	100	17,55	26,88	14,98	35,00	5,26
<b>Out</b>	83,56	28,06	100	18,44	27,57	17,36	35,26	5,04
<b>Nov</b>	88,96	30,66	100	15,37	27,87	18,50	35,19	4,83
<b>Dez</b>	89,10	34,85	100	13,39	27,88	18,78	35,30	4,82
<b>Total</b>	85,27	28,06	100	16,58	27,24	12,51	35,48	5,19

Fonte: Próprios Autores (2023).

### Análise de conforto térmico da sala-cozinha

A Figura 5 mostra a comparação das umidades relativas do ar na zona térmica da sala cozinha no decorrer de 8760 horas, equivalente a um ano. Nota-se que a umidade relativa do ar, se manteve acima de 65% cerca de 7400 horas, representando um total de 84,47% do total de horas anuais.

Figura 5 – Comparação das umidades relativas do ar na sala-cozinha.

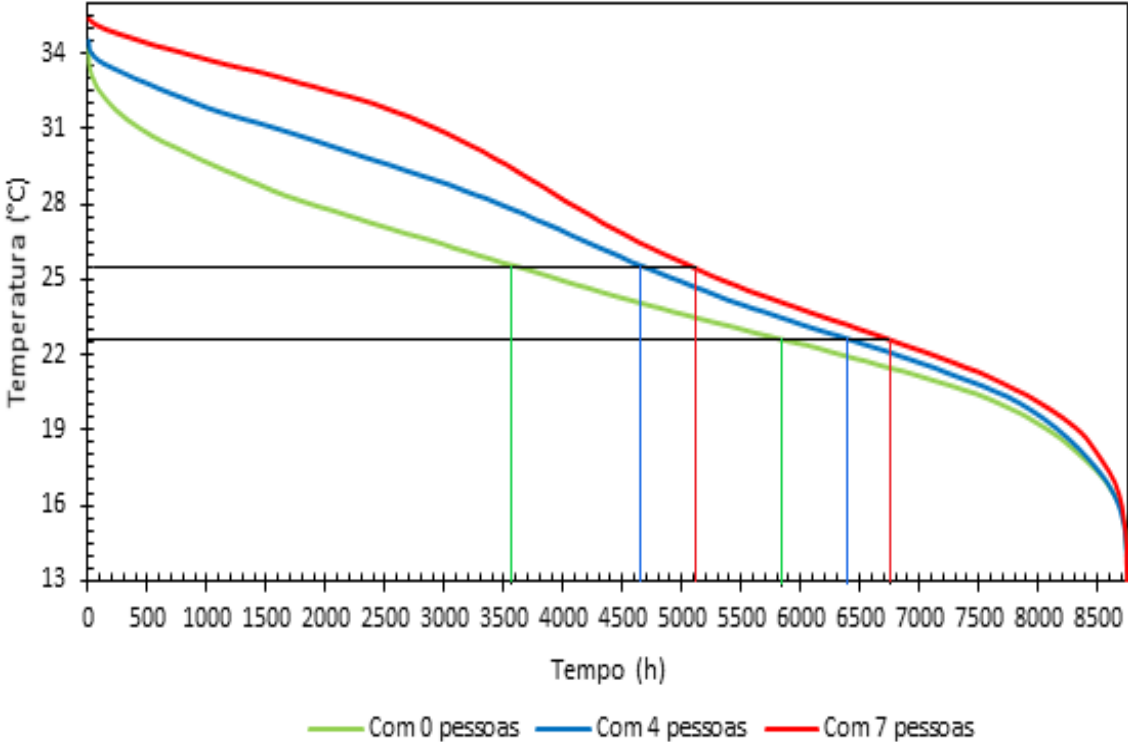


Fonte: Próprios Autores (2023).

A Figura 6 mostra a comparação das temperaturas da zona sala-cozinha com as diferentes quantidades de ocupantes. Observa-se que com a casa sem ocupantes a sala-cozinha apresenta 2250 horas dentro dos parâmetros para conforto térmico, o equivalente a 25,68% das horas anuais, representado com as linhas verdes na vertical. Na casa com quatro pessoas, a sala-cozinha apresenta 1750 horas dentro

dos parâmetros para conforto térmico, representando 19,97% das horas anuais, representado com as linhas azuis na vertical. Por fim, na casa com sete pessoas, a sala-cozinha apresenta 1650 horas dentro dos parâmetros para conforto térmico, que representa 18,83% das horas anuais, representado com linhas vermelhas na vertical.

Figura 6 – Comparação das temperaturas do ar na sala-cozinha.



Fonte: Próprios Autores (2023).

**Resultados da simulação da zona térmica do banheiro**

A Tabela 6 mostra os dados obtidos da zona térmica do banheiro com a casa sem pessoas. Nota-se que a menor média de umidade relativa do ar foi no mês de agosto alcançando 68,42%, a maior média ficou em 86,46% no mês de janeiro. Assim, o parâmetro de conforto térmico utilizado é de 22,5 °C a 25,5 °C. Observa-se na Tabela 6 que a menor temperatura no banheiro foi de 11,70 °C no mês de junho e a maior temperatura foi de 35,33 °C no mês de janeiro.

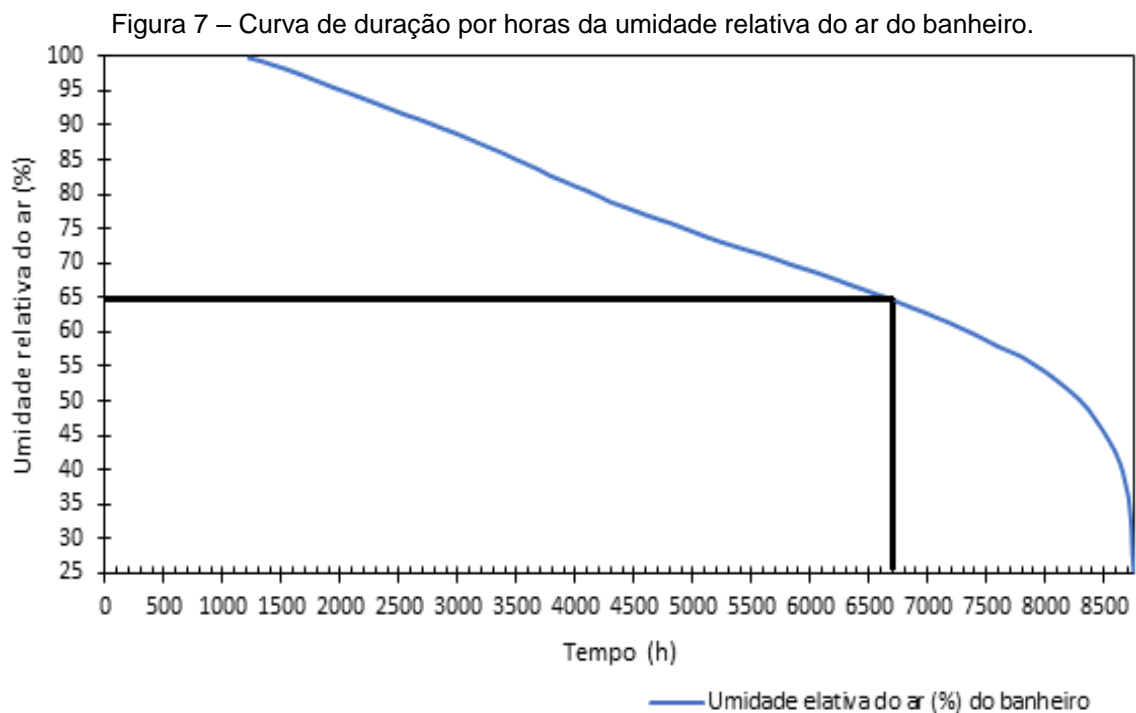
Tabela 6 – Umidade relativa do ar e temperatura do banheiro sem pessoas.

Umidade relativa do ar da zona térmica banheiro (%)	Temperatura do ar da zona térmica banheiro (°C)
---	---

Mês	Méd.	Mín.	Máx.	Desvio padrão	Méd.	Mín.	Máx.	Desvio padrão
Jan	83,46	39,01	100	14,70	26,89	20,92	35,33	3,30
Fev	82,68	42,41	100	15,13	26,21	19,57	34,36	3,52
Mar	80,57	37,10	100	15,68	26,49	18,85	35,11	3,43
Abr	76,54	32,99	100	16,96	25,51	18,20	33,54	3,32
Mai	78,66	33,46	100	15,97	23,26	15,46	32,95	3,63
Jun	75,20	33,10	100	16,73	21,84	11,70	30,31	3,50
Jul	74,96	38,14	100	15,87	21,01	12,39	29,91	3,46
Ago	68,42	24,59	100	17,48	22,68	13,01	31,90	4,22
Set	74,91	36,11	100	17,26	23,61	13,14	32,55	3,87
Out	77,13	35,42	100	16,19	25,29	16,83	34,22	3,57
Nov	83,09	24,58	100	17,28	25,26	17,88	34,38	3,51
Dez	82,57	31,27	100	15,46	25,39	17,83	34,32	3,58
<b>Total</b>	<b>78,15</b>	<b>24,58</b>	<b>100</b>	<b>16,82</b>	<b>24,44</b>	<b>11,70</b>	<b>35,33</b>	<b>4,03</b>

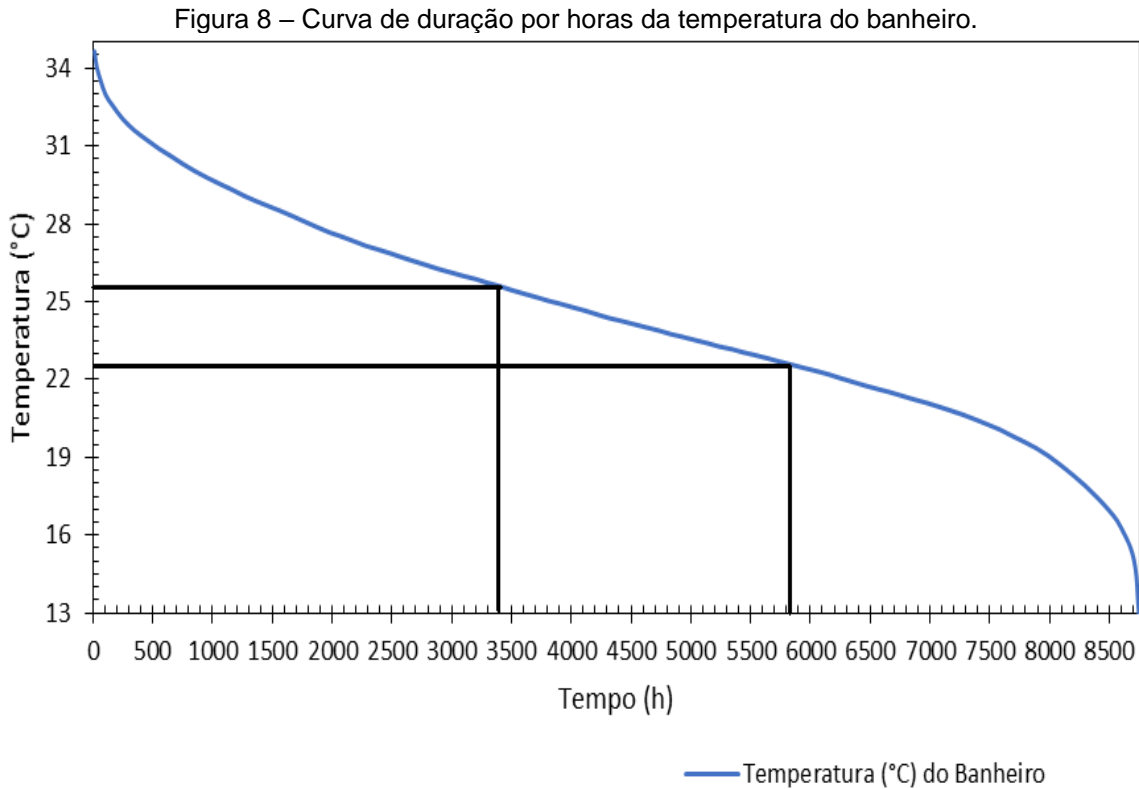
Fonte: Próprios Autores (2023).

Nota-se na Figura 7 que a umidade no banheiro se manteve acima de 65%, cerca de 6700 horas, o equivalente a 76,48% das 8760 horas anuais. Com isso, o parâmetro de conforto térmico que deve ser utilizado é de 22,5 °C a 25,5 °C.



Fonte: Próprios Autores (2023).

Nota-se na Figura 8 que a temperatura do banheiro permanece dentro dos parâmetros de conforto térmico, cerca de 2400 horas, o equivalente a 27,40% das 8760 horas anuais. Representado com as linhas pretas na vertical e horizontal.



Fonte: Próprios Autores (2023).

Nas simulações da casa com quatro e sete pessoas, os valores de temperatura e umidade, do banheiro, sofreram alterações de valores decimais em relação a casa sem ocupantes. Portanto, as tabelas e gráficos não foram apresentadas, já que a diferença foi ínfima e se torna imperceptível nos gráficos, além do mais, a análise do conforto térmico do banheiro não sofreria mudanças significativas. Logo, é mostrado somente a umidade e temperatura interna do ar no edifício sem pessoas.

### Considerações finais

O estudo numérico no trabalho atual realizou simulações do ponto de vista do desempenho térmico em uma habitação de baixo custo voltada para famílias de baixa renda localizadas no Residencial Mandela na cidade de Campinas-SP. Dado que este é um projeto relativamente recente, é importante ressaltar que melhorias contínuas são necessárias para aprimorar a qualidade de vida dos ocupantes.

Nesta pesquisa, foram empregados parâmetros como o tipo de material, espessura, condutividade térmica e variáveis térmicas externas encontradas no arquivo climático de Campinas-SP, incluindo radiação solar direta, bulbo seco, bulbo úmido, temperatura local e outros fatores para a análise das zonas térmicas geradas pelo *software EnergyPlus*.

Portanto, o propósito desta pesquisa foi alcançado, pois foi possível demonstrar a possibilidade de simular e produzir resultados consideráveis sobre desempenho térmico em um edifício através da utilização de *softwares* e da análise dos gráficos. A primeira simulação, com a casa sem pessoas, apresentou 25,68% das horas anuais para sala-cozinha e 27,40% das horas anuais para o banheiro, dentro dos parâmetros de conforto térmico da NBR 16.401-2. Na simulação com quatro pessoas essa porcentagem de horas caiu para 19,97% para sala-cozinha e com sete pessoas, caiu para 18,83% das horas anuais, para o banheiro não houve mudança significativa entre as simulações.

Percebe-se que, os *softwares* utilizados nesta simulação computacional desempenham um papel significativo na ciência, que pode propiciar a otimização de estruturas habitacionais, uma vez que permitem a avaliação e o teste de edifícios antes de sua construção, abrangendo diversas variáveis térmicas e fornecendo análises preditivas relacionadas ao seu desempenho energético.

## Referências

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.

ALVES, Xandu. Sob pressão, gestão Dário divulga planta de casa de 15 m<sup>2</sup>; OVALE pediu documento via LAI. **OVALE**, 24 jun. 2023. Disponível em: <<https://sampi.net.br/ovale/noticias/2765514/campinas/2023/06/com-15-m-casa-embriao-construida-em-campinas-contraria-diretriz-da-onu>>. Acesso em: 7 set. 2023.

ALVES, Xandu; SAMPI, Rede. Com 15 m<sup>2</sup>, casa embrião construída em Campinas contraria diretriz da ONU. **OVALE**, 3 jun. 2023. Disponível em: <<https://sampi.net.br/ovale/noticias/2765514/campinas/2023/06/com-15-m-casa-embriao-construida-em-campinas-contraria-diretriz-da-onu>>. Acesso em: 5 set. 2023.

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. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

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

**ASHRAE Handbook: Fundamentals.** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, SI edition. ASHRAE, Atlanta, GA e. 2021.

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: 5 de Jun de 2023.

DEPARTMENT OF ENERGY. U.S. **Engineering Reference.** Estados Unidos, 2022.

ENERGYPLUS. Versão 22.2.0. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acesso em: 5 jun. 2023.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort.** New York: McGraw-Hill, 1970.

MCQUISTON, Faye C.; PARKER, Jerald D.; SPITLER, Jeffrey D. **Heating, Ventilating and Air Conditioning: Design and Analysis, 6ª edition.** John Wiley & Sons, Nova York, 2005.

OPENSTUDIO v1.5.0. Disponível em: <<https://openstudio.net/>>. Acesso em: 5 jun. 2023

PEDERSEN, Curtis O.; FISHER, Daniel E.; LIESEN, Richard J. Development of a heat balance procedure for calculating cooling loads. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA (United States), 1997.

PREFEITO de Campinas rebate críticas de Lula sobre casas populares de 15 metros quadrados: 'espantado com a agressividade do presidente'. **G1**, 19 jun. 2023. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2023/06/19/prefeito-de-campinas-diz-que-casas-de-15m-sao-maiores-que-antigos-barracos.ghtml>>. Acesso em: 6 ago. 2023.

SKETCHUP v21.0.391. Disponível em: <<https://www.sketchup.com/pt-BR>>. Acesso em: 3 jun. 2023.

TAGLIANE, Simone. As Casas de 15 m<sup>2</sup> de Campinas: Seria essa a resposta para a falta de moradia popular?. **Engenharia360**, 20 jun. 2023. Disponível em: <<https://engenharia360.com/casas-de-15-m2-em-campinas-gera-debate/>>. Acesso em: 30 jun. 2023.