

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO**

Camila Rodrigues Silva

**Análise de desempenho termoacústico de uma
habitação em *Light Wood Frame*: estudo de caso
em São Carlos/SP**

SÃO CARLOS - SP

JUNHO DE 2023



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo
Área de concentração: Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia

Camila Rodrigues Silva

**Análise de desempenho termoacústico de uma
habitação em *Light Wood Frame*: estudo de caso em
São Carlos/SP
(versão corrigida)**

Dissertação apresentada ao Instituto de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade de
São Paulo, como requisito para obtenção do
Título de Mestre em Arquitetura, Urbanismo
e Tecnologia.

Orientador: **Prof. Dr. Bruno Luís Damineli.**

SÃO CARLOS - SP

JUNHO DE 2023

AUTORIZO A REPRODUCAO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRONICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto de Arquitetura e Urbanismo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Sa Silva, Camila Rodrigues
 Análise de desempenho termoacústico de uma
 habitação em Light Wood Frame: estudo de caso em São
 Carlos/SP / Camila Rodrigues Silva; orientador Bruno
 Luís Damineli. -- São Carlos, 2023.
 131 p.

 Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
 em Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura, Urbanismo e
 Tecnologia -- Instituto de Arquitetura e Urbanismo,
 Universidade de São Paulo, 2023.

 1. Light Wood Frame. 2. Habitações Unifamiliares.
 3. Norma Brasileira de Desempenho. 4. Desempenho
 Térmico. 5. Construção Civil. I. Damineli, Bruno Luís
 , orient. II. Título.

Bibliotecária responsável pela estrutura de catalogação da publicação de acordo com a AACR2:
Brianda de Oliveira Ordonho Sígolo - CRB - 8/8229

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: **Camila Rodrigues Silva**

Título da dissertação: "Análise de desempenho termoacústico de uma habitação em Light Wood Frame: estudo de caso em São Carlos/SP".

Data da defesa: **06/07/2023**

Orientador: Prof. Dr. Bruno Luís Daminelli


Comissão Julgadora:

Resultado:



Prof. Dr. Bruno Luís Daminelli
(IAU/USP)

Não votante



Prof. Dr. Akemi Ino
(IAU/USP)

APROVADA -



Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoldi
(FECFAU-UNICAMP)

APROVADA



Profª Drª Adriana Petito de Almeida Silva Castro
(UNIMEP)

APROVADA

Coordenador e Presidente da Comissão de Pós-Graduação do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo: **Prof. Dr. João Marcos de Almeida Lopes.**

(Página intencionalmente deixada em branco)

***Entrega o teu caminho ao Senhor;
confia Nele, e Ele tudo fará.
(Salmos 37:5)***

***Sonhar é verbo: é seguir, é pensar,
inspirar e fazer força,
insistir, é lutar, transpirar.
São mil verbos que
vem antes do verbo realizar.
(Bráulio Bessa)***

(Página intencionalmente deixada em branco)

DEDICATÓRIA

*À minha família, em especial aquela
que é a base de toda a
minha luta até aqui:
minha mãe Maria Piedade;
meu pai Ronaldo Lopes;
e à minha irmã, Giselle Rodrigues,
que sempre estiveram ao meu lado
em todos os momentos.*

*Ao meu noivo, que nunca me deixou
cair um só momento, que se tornou um
dos maiores responsáveis por
não desistir dessa caminhada, Victor Baldan.*

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por nunca me deixar cair mesmo diante de tantas adversidades, por me dar saúde nos momentos em que mais precisei, por nunca perder a fé e querer que Ele sempre estivesse ao meu lado, me dando a sua mão.

À família: minha mãe Maria Piedade que sempre foi responsável por minha educação e sempre esteve ao meu lado durante toda a minha luta e conquista até aqui, a minha base, meu primeiro e eterno amor, meu tudo; meu pai Ronaldo Lopes que sempre me apoiou nos estudos e na vida; e à minha irmã, Giselle Rodrigues que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos, compreendendo e me dando força.

Ao meu noivo, meu amor, Victor Baldan, ao que foi cura de todo o meu cansaço quando eu me senti fraca e desanimada, foi apoio, foi paciente, meu tudo e grande responsável pela realização deste trabalho e meu melhor encontro do IAU. Encontro da vida e que este seja para sempre.

Ao Prof. Dr. Bruno Luís Damineli, por toda a orientação neste trabalho, ensinamentos e incentivo.

À Profa. Associada. Akemi Ino, que no início do Mestrado me proporcionou grandes conhecimentos no tema da minha pesquisa.

Ao Eng. Civil Guilherme Corrêa Stamato, Diretor da Stamade Engenharia e Consultoria, por toda generosidade e auxílio.

A todos os meus amigos da USP de São Carlos, em especial Alexandre Murari e Ângliston Camilotti pela amizade e apoio na realização deste trabalho.

Aos amigos do IAU/USP que contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Javier Pablos pela oportunidade de aprendizado na participação como monitora em disciplina ministrada ao curso de Engenharia Civil da EESC/USP.

Ao Prof. Dr. Eduvaldo Sichieri por toda a amizade e incentivo para a conclusão deste trabalho.

À Profa. Dra. Kelen Almeida Dornelles, por sua contribuição e auxílio na realização deste trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Conforto Ambiental (LCA), em especial Pedro Mattia do IAU-USP, pelo auxílio na realização deste trabalho.

A todos os funcionários do IAU/USP, em especial Mara Lino, Flavia Macambyra, Ana Paula Fregona e Vilma Coutinho pelo suporte administrativo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido para a viabilização deste trabalho.

E a todos que contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho que contribuíram direta ou indiretamente.

RESUMO

Silva, Camila Rodrigues. **Análise de desempenho termoacústico de uma habitação em *Light Wood Frame*: estudo de caso em São Carlos/SP.** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2023.

O sistema *Light Wood Frame* se destaca por ser uma alternativa na construção industrializada, com processo construtivo rápido e desperdício reduzido. Por outro lado, a norma brasileira de desempenho avalia características e de ambiente quanto às grandezas de clima e fisiologia humana de condicionamento térmico visando o desempenho construído adequado, tanto do ponto de vista térmico, quanto acústico. Nesse contexto, esse trabalho como objetivo avaliar, a partir da norma brasileira, o desempenho térmico de uma habitação unifamiliar em *Light Wood Frame* construída no município de São Carlos/SP. Para tanto, foram realizadas medições de temperatura em dias típicos de inverno e de verão devidamente caracterizados nas quatro fachadas e no interior de quatro ambientes da referida habitação em *Light Wood Frame*, sendo três suítes e uma sala de estar. Além disso, foram realizadas simulações em *Sketchup* para melhor apuração do projeto envolvido pela presente pesquisa. Dessa forma, foi possível comparar os dados obtidos com a normalização técnica. Os resultados demonstraram que o desempenho térmico de acordo com a análise projetual, consideram a implantação do projeto como um fator determinante, tendo em vista que a insolação, área de sombreamento e de vidro presentes no projeto não colaboram satisfatoriamente com os resultados.

Palavras-chave: *Light Wood Frame*, norma brasileira de desempenho, desempenho térmico, construção civil.

ABSTRACT

Silva, Camila Rodrigues. *Analysis of thermoacoustic performance of a house in Light Wood Frame: case study in São Carlos/SP*. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2023.

Light Wood Frame system stands out for being an alternative in industrialized construction, with a fast construction process and reduced waste. On the other hand, the Brazilian performance standard evaluates characteristics and environment in terms of climate and human physiology of thermal conditioning aiming at adequate built performance, both from a thermal and acoustic point of view. In this context, this work aims to evaluate, based on Brazilian standards, the thermal performance of a single-family house in Light Wood Frame built in the city of São Carlos/SP. To this end, temperature measurements were taken on typical winter and summer days duly characterized on the four facades and inside four rooms of the aforementioned Light Wood Frame dwelling, three of which were suites and one living room. In addition, simulations were carried out in Sketchup to better determine the project involved in this research. This way, it was possible to compare the data obtained with technical normalization. The results demonstrated that thermal performance, according to the design analysis, considers the implementation of the project as a determining factor, considering that the insolation, shading area and glass present in the project do not contribute satisfactorily to the results.

Keywords: Light Wood Frame, dwellings, Brazilian performance standard, thermal performance, civil construction.

LISTA DE IMAGENS

Figura 1: Variedade de edificações construídas no Paraná	34
Figura 2: Exemplos de edificações construídas pelos primeiros imigrantes	35
Figura 3: Sistema <i>Ballon Frame</i>	38
Figura 4: Protótipo construído pela TecVerde em Curitiba.....	40
Figura 5: Ossatura das paredes de <i>Wood Frame</i>	41
Figura 6: Exemplo de montantes para espaços das janelas.....	42
Figura 7: Composição do <i>Wood Frame</i>	43
Figura 8: Isolamento térmico.....	44
Figura 9: Estrutura de fundação radier e uma fundação " <i>basement</i> ".....	45
Figura 10: Travamento das vigas de perfil I.....	46
Figura 11: Elemento da estrutura do piso	47
Figura 12: Componentes básicos da parede	48
Figura 13: Componentes do <i>Wood Frame</i> e carga distribuída	48
Figura 14: Sistemas elétricos e hidráulicos embutidos nas paredes	49
Figura 15: Membrana e <i>siding</i> PVC.....	50
Figura 16: Parede em <i>Wood Frame</i> com contraventamento	51
Figura 17: Casa de <i>Wood Frame</i> em cobertura treliçada	52
Figura 18: Transporte de peças.....	53
Figura 19: Detalhamento da face externa das paredes do piso térreo.....	57
Figura 20: Detalhamento da face interna molháveis e molhadas das paredes sobre o entrepiso de madeira.....	58
Figura 21: Zoneamento climático do território brasileiro.....	60
Figura 22: Estrutura Metodológica.....	71
Figura 23: Imagem de satélite da localização do objeto de estudo à esquerda e em zoom à direita.	72
Figura 24: (a) Zona Bioclimática e (b) Carta Zona Bioclimática 4	72
Figura 25: Esquema de Vedação Vertical externa em <i>Light Wood Frame</i> e suas camadas	73
Figura 26: Planta da Casa – Térreo	74
Figura 27: Fachada principal da habitação do objeto de estudo.....	75
Figura 28: Ambientes de maior ocupação do objeto em estudo na habitação em <i>Light Wood Frame</i>	76
Figura 29: Medidor Digital Datalogger Testo 175H1 utilizado para a análise de dados de Temperatura interna e externa do ar	77
Figura 30: Planta da cobertura.....	89
Figura 31: Corte CC e BB da cobertura.....	90
Figura 32: Corte AA da cobertura	90
Figura 33: Amplitude térmica da temperatura externa do ar no período de inverno	92
Figura 34: Amplitude térmica da temperatura interna do ar da suíte 1 no período de inverno	92
Figura 35: Amplitude térmica da temperatura interna do ar da suíte 2 no período de inverno.....	93
Figura 36: Amplitude térmica da temperatura interna do ar da suíte 3 no período de inverno	93
Figura 37: Amplitude térmica da temperatura interna do ar da sala no período de inverno.....	94
Figura 38: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 1 no período de inverno.....	95
Figura 39: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 2 no período de inverno	95
Figura 40: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 3 no período de inverno	96
Figura 41: Variação das temperaturas externa e interna do ar da sala no período de inverno.....	96
Figura 42: Amplitude térmica da temperatura externa do ar no período de verão	98
Figura 43: Amplitude térmica da temperatura interna do ar da suíte 1 no período de verão.....	99
Figura 44: Amplitude térmica da temperatura interna do ar da suíte 2 no período de verão.....	99
Figura 45: Amplitude térmica da temperatura interna do ar da suíte 3 no período de verão.....	100
Figura 46: Amplitude térmica da temperatura interna do ar da sala no período de verão.....	100
Figura 47: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 1 no período de verão.....	101
Figura 48: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 2 no período de verão.....	101
Figura 49: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 3 no período de verão.....	102
Figura 50: Variação das temperaturas externa e interna do ar da sala no período de verão	102
Figura 51: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 1 – dia típico de inverno.....	104

Figura 52: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 2 – dia típico de inverno.....	106
Figura 53: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 3 – dia típico de inverno.....	107
Figura 54: Variação das temperaturas externa e interna do ar da sala – dia típico de inverno	108
Figura 55: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 1 – dia típico de verão	110
Figura 56: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 2 – dia típico de verão	111
Figura 57: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 3 – dia típico de verão	112
Figura 58: Variação das temperaturas externa e interna do ar da sala – dia típico de verão	114
Figura 59: Análise Projetual para os ambientes Quarto Suíte 1 e Quarto Suíte 2 (Inverno e Verão).....	118
Figura 60: Análise Projetual para os ambientes Quarto Suíte 3 e Sala de Estar (Inverno e Verão)	118

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Componentes da face externa da parede externa de Light Wood Frame	56
Quadro 2: Critério e desempenho térmico para condições de inverno – suíte 1	105
Quadro 3: Critério e desempenho térmico para condições de inverno – suíte 2	106
Quadro 4: Critério e desempenho térmico para condições de inverno – suíte 3	108
Quadro 5: Critério e desempenho térmico para condições de inverno - sala	109
Quadro 6: Critério e desempenho térmico para condições de verão – suíte 1	110
Quadro 7: Critério e desempenho térmico para condições de verão – suíte 2	112
Quadro 8: Critério e desempenho térmico para condições de verão – suíte 3	113
Quadro 9: Critério e desempenho térmico para condições de verão – sala	114

(Página intencionalmente deixada em branco)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Período de coleta de dados da Temperatura interna e externa do ar.....	78
Tabela 2: Requisitos e resultados da transmitância térmica das paredes externas da fachada sul	82
Tabela 3: Requisitos e resultados da capacidade térmica das paredes externas da fachada sul.....	82
Tabela 4: Requisitos e resultados da transmitância térmica das paredes externas das fachadas norte, leste e oeste	84
Tabela 5: Requisitos e resultados da capacidade térmica das paredes externas das fachadas norte, leste e oeste	84
Tabela 6: Requisitos e critérios da transmitância térmica para coberturas	85
Tabela 7: Requisitos e resultados da transmitância térmica da cobertura.....	87
Tabela 8: Requisitos e resultados da capacidade térmica da cobertura.....	87
Tabela 9: Requisitos e resultados da capacidade térmica da cobertura.....	88
Tabela 10: Requisitos e resultados da área mínima de ventilação em dormitório e sala de estar do objeto de estudo	116

(Página intencionalmente deixada em branco)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
1.1 Considerações Iniciais, problemática e justificativa da pesquisa	23
1.2 Objetivos	27
1.2.1 Objetivo Geral	27
1.2.2 Objetivos Específicos.....	27
1.3 Conteúdo do Trabalho	28
2. SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS E O <i>LIGHT WOOD FRAME</i>	29
2.1 Uso da madeira na construção civil	29
2.2 Industrialização da construção civil: <i>Light Wood Frame</i>	35
2.3 Histórico sobre o sistema <i>Light Wood Frame</i> : surgimento e uso do LWF nos EUA, Europa e Brasil.....	36
2.4 Elementos construtivos do sistema <i>Light Wood Frame</i>	40
2.4.1 Ossatura das paredes	40
2.4.2 Quadros estruturais de portas e janelas externas	41
2.4.3 Fabricação dos painéis	42
2.5 Etapas de montagem do sistema <i>Light Wood Frame</i>	44
2.5.1 Fundação	45
2.5.2 Pisos	46
2.5.3 Paredes	47
2.5.4 Sistemas elétrico e hidráulico	48
2.5.5 Revestimentos	49
2.5.6 Contraventamento.....	50
2.5.7 Telhado.....	51
2.5.8 Transporte.....	52
3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA CONSTRUTIVO <i>LIGHT WOOD FRAME</i>	54
3.1 Diretriz SINAT 005	54
3.2 Norma Brasileira NBR 15220: Desempenho Térmico de Habitações(ABNT, 2005)	58
3.3 Norma Brasileira NBR 15575: Edificações Habitacionais –Desempenho (ABNT, 2013).....	61
4. MATERIAIS E MÉTODOS	70
4.1 Estrutura Metodológica	70
4.2 Estudo de caso: residência unifamiliar em <i>Light Wood Frame</i> localizada na cidade de São Carlos/SP.....	71
4.2.1 Descrição do local e das condições climáticas de análise	71
4.2.2 Composição dos Painéis de Vedação Vertical em <i>Light Wood Frame</i>	73

4.2.3	Descrição da unidade habitacional (esquema das paredes Murari)	73
4.3	Avaliação do desempenho térmico da unidade residencial em <i>Light Wood Frame</i>	75
4.4	Análise projetual detalhada.....	78
5.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	80
5.1	Avaliação das Propriedades Térmicas	80
5.1.1	Cálculos aproximados da transmitância e capacidade térmica do objeto de estudo (paredes). 80	
5.1.1.1	Fachada sul (paredes externas)	80
5.1.1.2	Fachadas norte, leste e oeste (paredes externas).....	82
5.1.2.	Cálculos aproximados da transmitância e capacidade térmica do objeto de estudo para as coberturas	84
5.2	Desempenho térmico	91
5.2.1	Períodos de coleta de dados	91
5.2.1.1	Primeiro período de coleta de dados – 22 a 24 de junho de 2021 (inverno).....	91
5.2.1.2	Segundo período de coleta de dados – 18 a 20 de dezembro de 2021 (verão)	98
5.2.1.3	Desempenho no inverno	103
5.2.1.4	Desempenho no verão.....	110
5.2.1.5	Aberturas para ventilação	115
5.3	Análise Projetual	117
6.	CONCLUSÕES	122
6.1	Objetivo específico 01.....	122
6.2	Objetivo específico 02.....	123
6.3	Objetivo específico 03.....	123
6.4	Objetivo geral	124
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	126
	REFERÊNCIAS	128

(Página intencionalmente deixada em branco)

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais, problemática e justificativa da pesquisa

Um dos maiores marcos da Revolução Industrial, iniciada no século XIX, foram as transformações causadas pelo próprio homem na natureza. Ao longo dos anos, tais atividades industriais foram aumentando e adquirindo uma contribuição significativa para esclarecimento de debates, conceitos e estudos sobre os riscos que as indústrias trariam para o meio ambiente (ZHONG; WU, 2015). Desde então, a sociedade busca a tomada de consciência para que seja possível entender os efeitos nocivos motivados pela industrialização (BORK; BARBA JUNIOR; GOMES, 2015).

Essa conscientização trouxe o desenvolvimento de técnicas construtivas e inovadoras com grande adesão às certificações ambientais. Tal contribuição busca um papel de maior desempenho no ambiente construído, colaborando com a redução de geração de resíduos e a preservação de seus recursos naturais (VILLORIA SÁEZ et al., 2014).

A madeira é considerada o material de construção mais antigo do qual se tem registro, devido à sua disponibilidade e facilidade de manejo, aumentada pela sua resistência/peso (PFEIL & PFEIL, 2003).

O Brasil sempre foi muito coberto por florestas e sendo a madeira um material abundante e muito utilizado nas construções das diversas etnias indígenas, desenvolveu inúmeras tipologias construtivas na época para a construção civil (SHIGUE, 2018).

Segundo o *Canadian Wood Council* (2002), a madeira pode trazer benefícios para a melhora do desempenho ambiental dos edifícios, reduzindo assim o consumo de energia, poluição e impactos ambientais.

Algumas literaturas difundiram alguns fatores críticos sobre o *Light Wood Frame*. O primeiro é o preconceito pela madeira, por vezes utilizada de forma errada e que foi vista como um produto de baixa qualidade, trazendo para o mercado uma das grandes barreiras para sua propagação (MOLINA; CALIL, 2010).

Já no caso do emprego da madeira pelo setor da construção civil, esta apresenta uma revolução no setor de produção e de transformação com a industrialização. A madeira do gênero *pinus* é utilizada na construção de edificações habitacionais e em diversas tipologias como sistema tábua e mata-junta e de encaixe de montantes, no entanto não haviam práticas para aumentar a qualidade da madeira (SHIGUE., 2018).

A madeira apresentou todo um protagonismo, tanto na formação das primeiras colônias, como em algumas cidades na região do sul. Em um período tardio, o *Wood Frame* foi introduzido no Brasil no final da década de 1970, apesar de ser difícil de datar a sua primeira construção (SHIGUE, 2018).

Em meados do século XX, surgia nos Estados Unidos o *Wood Frame*, sistema construtivo que tornava prevaiente em casas e edifícios de menor escala. Atualmente, 90% dessas edificações norte-americanas empregam algumas variações do *Light Wood Frame*, como o *Ballon Frame*, que tem o sistema balão e sua estrutura de madeira caminha da fundação até a cobertura e também o sistema *Platform Frame*, em que os montantes possuem a altura de um pavimento e os barrotes do piso são montados de forma independente das paredes, é uma estrutura de construção comumente usada em edifícios residenciais de madeira. Nesse método de construção, os pisos, paredes e

telhados são construídos em plataformas separadas e, em seguida, montados no local para formar a estrutura do edifício. Esse tipo de construção é amplamente utilizado em muitos países e é frequentemente encontrado em casas unifamiliares e edifícios de vários andares (THALLON, 2008).

De fato, as construções em madeira no Brasil estão presentes desde o período indígena. Entretanto, não há registros precisos sobre seu surgimento no país, além de haver muitas variações na nomenclatura, como: madeira laminada colada (Glulam), madeira laminada cruzada (CLT), madeira laminada (LSL), madeira serrada paralela (PSL), madeira orientada serrada (OSL), madeira laminada folheada (LVL) e existem outras vigas de madeira como fitch (reforçado com aço) e caixa prensada por dois compensados (MURARI, 2018).

A iniciativa pioneira de construir uma casa de madeira no Brasil foi adiada e ocorreu apenas por meio de dois protótipos. Segundo Abbate (2002), o primeiro *Wood Frame* foi construído como protótipo em 1973, pela *Gypsum* do Nordeste e o segundo exemplar só foi construído em 2001 pelo construtor e especialista em *Wood Frame* americano Alfred Lee Edgar, sob responsabilidade técnica do engenheiro civil brasileiro Carlos Alves e está localizada no Condomínio Cantegril em Viamão (RS). Meses depois, a madeireira Battistella e a construtora Malacon (ambas paranaenses), foram as primeiras fabricantes de casas em *Wood Frame* no Brasil, onde começaram a difundir o sistema no país, trazendo mais uma opção para o mercado brasileiro de construção (DE ARAÚJO *et al.*, 2016).

Entretanto, a flexibilidade do sistema construtivo permitiu a inclusão de edificações uni ou multifamiliares, estilos diferenciados, sejam tradicionais ou modernos e seus respectivos acabamentos (DE ARAÚJO *et al.*, 2016).

Outras importantes peculiaridades podem ser atribuídas na lista de benefícios, dentre eles, destacam-se principalmente, o desempenho termoacústico, a ampliação interna da obra em 4% de área útil, além de uma considerável redução no tempo de construção. Apesar de todas essas características positivas, as construções em *Wood Frame* ainda não são significativas em meio à construção convencional. Isto acontece por vários motivos, tais como, a tradição da alvenaria no país, a não valorização da madeira na cultura dos cursos de Arquitetura e Engenharia Civil, a necessidade de tratamento para evitar umidade e cupim, a compreensão de que habitações industrializadas ou pré-fabricadas não possuem boa qualidade, ainda há pouca divulgação por parte dos usuários, restrita aos grandes centros e sem incentivo do Estado ao sistema ou o próprio preconceito à madeira (OLIVEIRA, 2014).

De acordo com Tonelli e Grimaudo (2017), caracterizando construções leves, habitações com material de vedação predominante em madeira apresentam valores de massa inferiores à alvenaria tradicional e trazem dúvidas quanto ao seu desempenho térmico. Em análises de desempenho térmico segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), tecnologias de vedação em madeira, que configuram sistemas leves, apresentam limitações na forma de avaliação e nos níveis de eficiência, em função da sua baixa capacidade térmica (inferior a 130 KJ/m²K). No entanto, pesquisas recentes apontam que vedações leves podem oferecer melhor comportamento térmico e acústico, e o uso da madeira é uma alternativa altamente eficaz para a substituição da alvenaria convencional de blocos (ASDRUBALI, F. et al., 2017; NUNES et al., 2020).

Impulsionado por todas estas razões, posteriormente a alguns anos de revisão e debates, entra em vigor a Norma de Desempenho NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho, que foi publicada no ano de 2008 por meio da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a qual instituiu o nível de desempenho mínimo

ao longo de sua vida útil para elementos principais (como estrutura, vedações, instalações elétricas e hidrossanitárias, pisos, fachada e cobertura) de toda e qualquer edificação habitacional. Essas exigências, antes subjetivas, viraram requisitos técnicos com parâmetros estabelecidos, como exemplo, o desempenho térmico.

A presente pesquisa, apesar de apresentar o termo “termoacústico” no título, está focada em analisar apenas o desempenho térmico de uma unidade habitacional de *Light Wood Frame* construída na cidade de São Carlos/SP.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é avaliar, a partir da norma brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013), o desempenho térmico de uma habitação unifamiliar em *Light Wood Frame* construída no município de São Carlos/SP.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar de acordo com os requisitos da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), o desempenho térmico de ambientes como suíte 1, suíte 2, suíte 3 e sala de estar de uma habitação unifamiliar localizada na cidade de São Carlos/SP;
- Analisar a insolação através de sua implantação, por meio de cartas solares – fachadas norte, sul, leste e oeste;
- Analisar o projeto através de simulações por meio do software Sketchup.

1.3 Conteúdo do Trabalho

A presente pesquisa foi desenvolvida de forma experimental e exploratória, buscando mostrar a problemática e a justificativa do uso do *Light Wood Frame* e da pesquisa em questão, apresentada no Capítulo 1.

Em sequência é apresentado no Capítulo 2, toda a história de industrialização do *Wood Frame*, seus elementos construtivos e a tecnologia utilizada do início ao fim na construção civil.

No Capítulo 3, é demonstrado os requisitos exigidos para o desempenho térmico por meio da norma brasileira NBR 15220: Desempenho Térmico de Habitações (ABNT, 2005) e a norma brasileira NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho Térmico e Acústico (ABNT, 2013), bem como a Diretriz SINAT 005 (2017) e todo o detalhamento desse sistema construtivo.

A partir desse estudo das normas foi possível direcionar os materiais e métodos necessários para essa pesquisa. Diante desse estudo foram realizados ensaios de campo e interpretação dos dados coletados apresentados no Capítulo 4.

A análise desses dados, em conjunto com as cartas solares e a análise projetual estão elencados e demonstrados no Capítulo 5.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões da pesquisa, e o Capítulo 7, sugestões para trabalhos futuros.

2. SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS E O *LIGHT WOOD FRAME*

2.1 Uso da madeira na construção civil

A madeira é um dos materiais de construção mais antigos na história da humanidade. Sua popularidade se deve às suas características únicas, como sua abundância, facilidade de processamento e resistência. Como arquiteto, entender as características das madeiras e suas aplicações nas estruturas é fundamental para aproveitar todo o potencial desse material versátil na construção civil (ESPÍNDOLA, 2017).

É um recurso natural renovável, originado principalmente de árvores de florestas. Existem diferentes tipos de madeira disponíveis, cada uma com suas características específicas. A escolha do tipo de madeira dependerá de fatores como a aplicação desejada, a disponibilidade regional, a durabilidade esperada e as propriedades físicas necessárias (ESPÍNDOLA, 2017).

Uma das características mais importantes da madeira é sua resistência mecânica. A madeira possui uma excelente relação resistência-peso em comparação a outros materiais estruturais, como o concreto e o aço. Essa propriedade torna a madeira uma opção atraente para projetos arquitetônicos, especialmente quando se busca leveza e flexibilidade. Além da resistência, a madeira também possui outras características benéficas. É um excelente isolante térmico e acústico, o que contribui para a eficiência energética das construções (MORESCHI, 2014).

No entanto, é importante considerar algumas limitações da madeira. Ela é suscetível ao fogo, mas com tratamentos adequados, é possível melhorar sua resistência ao fogo. Além disso, a madeira requer manutenção regular para garantir sua durabilidade, incluindo a aplicação de vernizes, selantes ou tintas protetoras (DE ARAÚJO, 2016).

A madeira é um material natural amplamente utilizado na construção civil devido às suas características únicas. A seguir estão algumas das principais características da madeira:

1. **Resistência:** Ela possui uma boa relação resistência-peso, tornando-a um material adequado para uso estrutural. Ela é capaz de suportar cargas significativas e resistir a forças externas, como vento e terremotos, quando adequadamente dimensionada e projetada.

2. **Durabilidade:** É um material durável, especialmente quando tratada corretamente para resistir à umidade, insetos e fungos. Madeiras como o cedro, a teca e o carvalho são conhecidos por sua resistência natural e longevidade.

3. **Isolamento térmico e acústico:** É um excelente isolante térmico e acústico. Ela ajuda a manter uma temperatura interna confortável, reduzindo a necessidade de aquecimento ou resfriamento artificial. Além disso, a madeira absorve e dissipa o som, proporcionando um ambiente mais silencioso.

4. **Versatilidade:** Ela pode ser facilmente trabalhada e moldada em diferentes formas e tamanhos, permitindo uma ampla variedade de aplicações na construção civil. Ela pode ser usada na construção de estruturas, como vigas, pilares e treliças, assim como em elementos decorativos, revestimentos e mobiliário.

5. Aparência estética: Possui uma beleza natural e atemporal que confere um charme e elegância aos projetos arquitetônicos. Sua textura, cor e padrões únicos trazem uma sensação de calor e acolhimento aos espaços construídos.

6. Sustentabilidade: É um recurso renovável, desde que provenha de florestas bem gerenciadas. O uso da madeira na construção civil contribui para a redução da pegada de carbono, pois a árvore absorve CO₂ durante seu crescimento. Além disso, a madeira pode ser reciclada, reutilizada e decomposta naturalmente, minimizando o impacto ambiental (MORESCHI, 2014).

Outra característica interessante da madeira é sua capacidade de absorver e liberar umidade. Isso ocorre porque é um material higroscópico, o que significa que ela pode interagir com a umidade do ambiente ao seu redor. Essa propriedade pode causar variações dimensionais na madeira, como expansão ou contração, conforme a umidade muda. Portanto, é importante levar em consideração o teor de umidade durante a seleção e o projeto de estruturas. É importante mencionar que a utilização da madeira na construção civil requer cuidados adicionais para garantir sua durabilidade e segurança. A madeira deve ser devidamente tratada para protegê-la contra a umidade, insetos e fungos. Também é importante considerar o tratamento da madeira para melhorar sua resistência ao fogo, especialmente em estruturas expostas a riscos de incêndio (DE ARAÚJO, 2016).

Desde tempos imemoriais, a madeira tem sido utilizada como um dos principais materiais na construção de habitações. Sua disponibilidade, facilidade de manuseio e propriedades naturais únicas fizeram dela uma escolha óbvia para diversas culturas ao redor do mundo. No passado, a madeira era amplamente utilizada na construção de casas e habitações. Na Europa, por exemplo, as casas de enxaimel se destacavam. Esse estilo

arquitetônico consistia em estruturas de madeira entrelaçadas, preenchidas com barro ou pedra. Esse método permitia a criação de estruturas leves, porém resistentes, que podiam ser facilmente montadas e desmontadas (ESPÍNDOLA, 2017).

Além disso, a madeira também foi utilizada na construção de estruturas de telhado, como tesouras e vigas, oferecendo suporte e resistência. Ela foi empregada em pisos, escadas, portas, janelas e outros elementos decorativos, aproveitando sua beleza natural e versatilidade. Ao longo dos séculos, seu uso na habitação foi adaptado e aprimorado com o surgimento de técnicas construtivas mais avançadas e o desenvolvimento de materiais complementares, como pregos, parafusos e adesivos. Isso permitiu a criação de estruturas mais complexas e arrojadas, como as construções em madeira lamelada-colada, onde várias peças de madeira são unidas para formar elementos estruturais mais resistentes (SHIGUE, 2018).

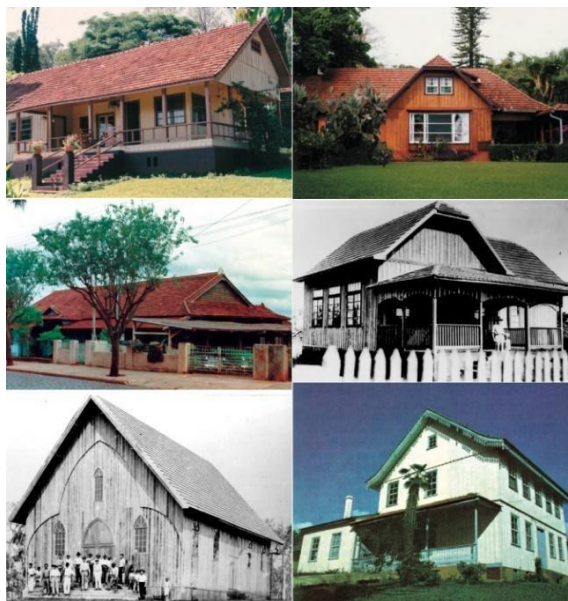
Hoje em dia, a madeira continua sendo um material de destaque na arquitetura e na construção sustentável. Novas técnicas e tecnologias têm sido desenvolvidas para otimizar seu uso, garantindo a sua durabilidade, resistência e segurança. Além disso, o conceito de construção sustentável tem impulsionado esse uso proveniente de florestas certificadas e o desenvolvimento de técnicas de preservação que minimizam o impacto ambiental (DE ARAÚJO, 2016).

As técnicas no uso da madeira são propostas desde a antiguidade em várias civilizações, chegando até os dias atuais com as inovações incorporadas pela indústria. Diante de algumas características, entre elas, facilidade de execução, resistência, leveza, comprimento e diâmetros variáveis, é possível proporcionar a possibilidade de construções mais rudimentares, construções residenciais e comerciais.

Assim, a madeira, abundante, resistente e renovável foi naturalmente o principal material utilizado nas construções das diversas etnias indígenas difundidas ao longo do território nacional. Embora haja escassez de registro e na disponibilidade de informações a respeito, sabe-se que devido à imensa diversidade de comunidades indígenas (e, conseqüentemente, dos seus modos de vida), além da variedade de ecossistemas e climas, foram desenvolvidas inúmeras tipologias construtivas para diferentes usos. Há inclusive estruturas de grande porte, capazes de abrigar dezenas de pessoas (SHIGUE, 2018).

No final do século XIX, com a instalação das serrarias, houve a padronização dos componentes construtivos em madeira, sendo este um dos fatores que permitiu a difusão do material na arquitetura popular da região sul do Brasil, além da disponibilidade de matéria-prima e de mão de obra qualificada (ZANI, 2013).

Os estados do Paraná e Santa Catarina obtiveram incentivos por meio do governo federal para o reflorestamento da região através de três programas que contaram com um subsídio na forma de doação de recursos financeiros e materiais – tais como, Minha Casa, Minha Vida, Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), havendo um progresso das áreas de florestas plantadas.

Figura 1: Variedade de edificações construídas no Paraná

Fonte: Zani, 2013.

Por falta de informações relacionadas à madeira, o material não possui destaque no país, devido a cultura ser dominada pelo uso de concreto e alvenaria. Isso se deve a uma série de fatores, incluindo disponibilidade de materiais, tradição e preferências estéticas. A madeira tem sido frequentemente associada a construções mais simples e rurais, o que pode limitar sua adoção em projetos mais amplos e urbanos (PFEIL, 2003; PFEIL, 2004).

Existe uma percepção equivocada de que a madeira é menos durável do que outros materiais de construção, como o concreto. No entanto, quando utilizada corretamente e com tratamentos adequados, a madeira pode ter uma vida útil comparável e até mesmo superior a outros materiais. A falta de conhecimento sobre as propriedades e tratamentos adequados da madeira pode limitar seu destaque na indústria da construção. Em outros países como os EUA, Canadá e Alemanha, a aceitação da madeira já faz parte do mercado, trazendo uma economia competitiva e uma visão da sociedade harmônica entre o homem e o ambiente (PFEIL, 2003; PFEIL, 2004).

Figura 2: Exemplos de edificações construídas pelos primeiros imigrantes



Fonte: Zani, 2013.

2.2 Industrialização da construção civil: *Light Wood Frame*

Com relação às técnicas tradicionais e culturais as construções em madeira sofreram mudanças drásticas após a Revolução Industrial e novos materiais surgiram para a diversificação dos sistemas e métodos construtivos. Em um outro contexto, Canadá e Estados Unidos investiram nas casas de madeira durante o século XIX, construindo a proposta nomeada como *Ballon Framing*. Tal sistema apresenta construções leves de madeira com produção acionada por máquinas a vapor e criando condições favoráveis no tempo de construção (DE ARAÚJO, 2016).

A pré-fabricação traz uma proporção que pode atender às exigências de mercado com uma curta duração na obra, com baixa perda de materiais e alta qualidade no processo (BORJEGHALEH; SARDROUD, 2016).

É possível afirmar que a industrialização possui dois ciclos, sendo, o fechado e o aberto, sendo que, o fechado é desenvolvido por processos entre fornecedor e empresas parceiras (ESPÍNDOLA, 2017). O sistema construtivo *Wood Frame* é considerado um sistema de ciclo aberto, em que esse sistema chega com peças separadas ao canteiro para

ser montado.

O *Wood Framing* constitui-se em painéis compostos por madeira adequadamente tratada e aplicada em diferentes formas, junto com outros materiais de isolamento térmico, isolamento da estrutura de madeira, e acabamento (SANTOS, 2012).

Atualmente existe um questionamento quanto à percepção da madeira para ser utilizada em soluções sustentáveis e eficientes das habitações no Brasil. O sistema *Light Wood Frame* se destaca por ser uma alternativa na construção industrializada, com processo construtivo rápido e desperdício reduzido. Ainda, no Brasil, o reflorestamento é competitivo quando comparado a outros materiais. Entretanto o *Wood Frame* utiliza de matéria prima com valor mais estável do que outros materiais, como o aço e seu desperdício é reduzido comparado a outros sistemas de construção convencional, podendo ser reduzido a menos de 10%. (TÉCHNE, 2009).

2.3 Histórico sobre o sistema *Light Wood Frame*: surgimento e uso do LWF nos EUA, Europa e Brasil

Segundo Allen e Thallon (2011), os Estados Unidos começaram a receber imigrantes europeus a partir do século XVI com grande interesse na produção madeireira. Devido a essa influência as primeiras casas foram construídas no estilo norte europeu sendo chamado de *Heavy Timber Frame*. Atualmente, nos Estados Unidos, o *Heavy Timber Frame* continua a ser valorizado por sua aparência estética e sustentabilidade. É comumente usado na construção de casas personalizadas, chalés, hotéis e edifícios comerciais, trazendo uma estética rústica e uma sensação de desconforto térmico.

Na Europa, o *Heavy Timber Frame* continua sendo valorizado por sua sustentabilidade, eficiência energética e estética. O uso de madeira maciça em projetos residenciais, edifícios comerciais e públicos é comum em toda a Europa. A tecnologia de construção em madeira maciça é frequentemente combinada com métodos modernos de construção, como isolamento térmico eficiente e sistemas de energia renovável, resultando em edifícios de baixo impacto ambiental (CARDOSO, 2015).

Tanto nos Estados Unidos quanto na Europa, o *Heavy Timber Frame* oferece uma alternativa sustentável e esteticamente atraente aos sistemas de construção convencionais. A beleza natural da madeira maciça e a capacidade de criar espaços acolhedores e duradouros tornam essa técnica uma escolha popular entre arquitetos, construtores e proprietários de imóveis (CARDOSO, 2015).

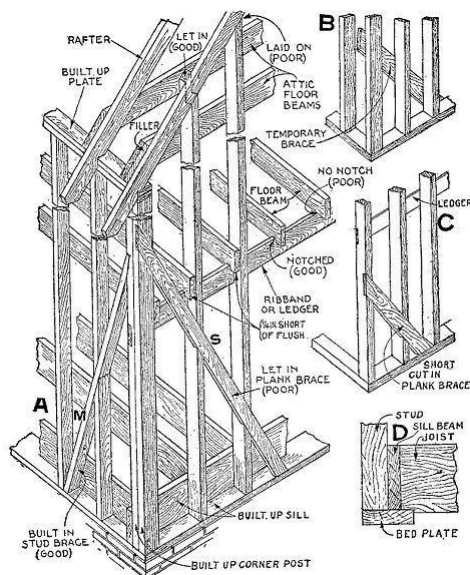
O *Light Wood Frame* é um dos sistemas construtivos mais comuns para a construção de residências unifamiliares e edifícios de baixa altura. Esse método construtivo ganhou popularidade especialmente após a Segunda Guerra Mundial, devido à disponibilidade de madeira de qualidade e à necessidade de construir habitações (TORQUATO, 2010).

Apesar de não haver certeza sobre o surgimento da técnica *Light Wood Frame*, alguns estudiosos atribuem à Igreja de Santa Maria em Chicago, construída por Georg W. Show em julho de 1833, como marco histórico e primeira obra em *Light Wood Frame* no mundo, ainda conforme LEAL *et al.*, (2011).

Devido a essas influências foi desenvolvido o sistema *ballon frame*, que esteve atrelado às construções de colonizadores antigos em fazendas de *New England*, região leste dos EUA, reconhecido na cidade de Chicago e regiões vizinhas. Tido como pioneiro

nos sistemas leves em madeira, em 1834 o número de edificações aumentou em pouco tempo, e de forma espantosa de dezenas em centenas (TAKASE, 1981).

Figura 3: Sistema *Ballon Frame*



Fonte: Oliveira, 2014.

O sistema enxaimel é especialmente associado à arquitetura rural e urbana da Europa Central, incluindo países como Alemanha, Áustria, Suíça, França, Países Baixos e Bélgica. Ele teve seu auge entre os séculos XV e XVIII, mas ainda é valorizado e preservado em muitas regiões como parte do patrimônio histórico e cultural (ESPÍNDOLA, 2017).

A estrutura do enxaimel é composta por vigas horizontais (chamadas de "hembras") e pilares verticais (chamados de "montantes"), que são unidos por encaixes, entalhes ou conectores metálicos. Essa estrutura de madeira maciça é visível tanto no interior quanto no exterior do edifício. Embora o sistema enxaimel seja mais comumente associado à arquitetura histórica, ele ainda é usado na construção contemporânea em algumas áreas da Europa. Muitas vezes, ele é combinado com técnicas construtivas

modernas e materiais atualizados para atender aos requisitos atuais de conforto térmico, acústico e segurança (ESPÍNDOLA, 2017).

O sistema enxaimel e o sistema *Heavy Timber Frame* europeu, utilizava elementos de travamento em diagonal e peças robustas de madeira, com preenchimento dos vazios com lã mineral ou outros materiais isolantes, entre as camadas de madeira que evoluiu inicialmente na Europa para algo próximo do *Wood Frame*, com elementos verticais, e posteriormente, na América do Norte, que se consolidou como *Light Wood Frame*, por usar peças de menor seção e fechamento também de madeira.

Em contrapartida, o *Wood Frame* no Brasil foi introduzido com registros no final da década de 1970, embora mencionado por Espíndola (2017), não havendo efetivamente uma data de quando ocorreu a primeira construção.

Segundo Stamato (2009), no Brasil, os projetos com estruturas baseadas em frames de madeira, têm utilizado como matéria-prima principal o pinus e, em menor volume, o eucalipto. A preferência pelo pínus, que também é muito utilizado na América do Norte, deve-se, principalmente, ao rápido crescimento desse tipo de árvore e à sua elevada permeabilidade ao tratamento em autoclave, fundamental para evitar ataques de organismos xilófagos.

As empresas mais conhecidas que trabalham com esse processo no Brasil são a TecVerde, em Curitiba/PR, e, mais recentemente, a Alea/Tenda, que inaugurou no ano de 2021, sua fábrica de casas em *Wood Frame* localizada em Jaguariúna, na região de Campinas/SP.

Figura 4: Protótipo construído pela TecVerde em Curitiba



Fonte: TecVerde, 2013.

2.4 Elementos construtivos do sistema *Light Wood Frame*

Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2015), os elementos construtivos são produzidos em indústrias como TecVerde, Eco Haus, Construtora Tetti, entre outras e passam por controle de qualidade antes de serem enviados para o local da construção. Essa modificação faz com que as operações realizadas no canteiro de obra sejam reduzidas, o que pode resultar na racionalização dos recursos e aumentar a produtividade e a organização. Essas vantagens são alcançadas devido à gestão de tempo, custos e qualidade envolvidas no processo industrial.

2.4.1 Ossatura das paredes

As estruturas das paredes são compostas por quadros estruturais de formas repetidas e espaçadas, e funcionam como elementos estruturais. Tais elementos se integram em elementos horizontais (compostos de soleira inferior e superior) e em elementos verticais (compostos de montantes), conforme demonstrado na Figura 5. Os

intervalos máximos entre os montantes é de 60cm, e no caso de paredes portantes de carga (CARDOSO, 2015).

A estrutura das paredes em *Wood Frame* pode ser do tipo portantes ou não portantes. Em situações de habitações de interesse social, paredes não portantes são de divisórias internas que resistem ao peso próprio de suas estruturas e revestimentos (CARDOSO, 2015).

Figura 5: Ossatura das paredes de *Wood Frame*



Fonte: Ecohabitat, 2021.

Conforme Allen e Thallon (2011), as madeiras mais usadas nas construções em Wood Frame na América do Norte são as coníferas *Pinaceae* como: *Abies*, *Picea* e *Pinus*.

2.4.2 Quadros estruturais de portas e janelas externas

As portas e janelas necessitam de quadros estruturais especiais, que permitem a inserção de aberturas, mantendo a capacidade estrutural. As vergas, também conhecidas

como *header* tem a obrigação de resistir às cargas provenientes do telhado e dos pavimentos situados acima (CARDOSO, 2015).

Figura 6: Exemplo de montantes para espaços das janelas

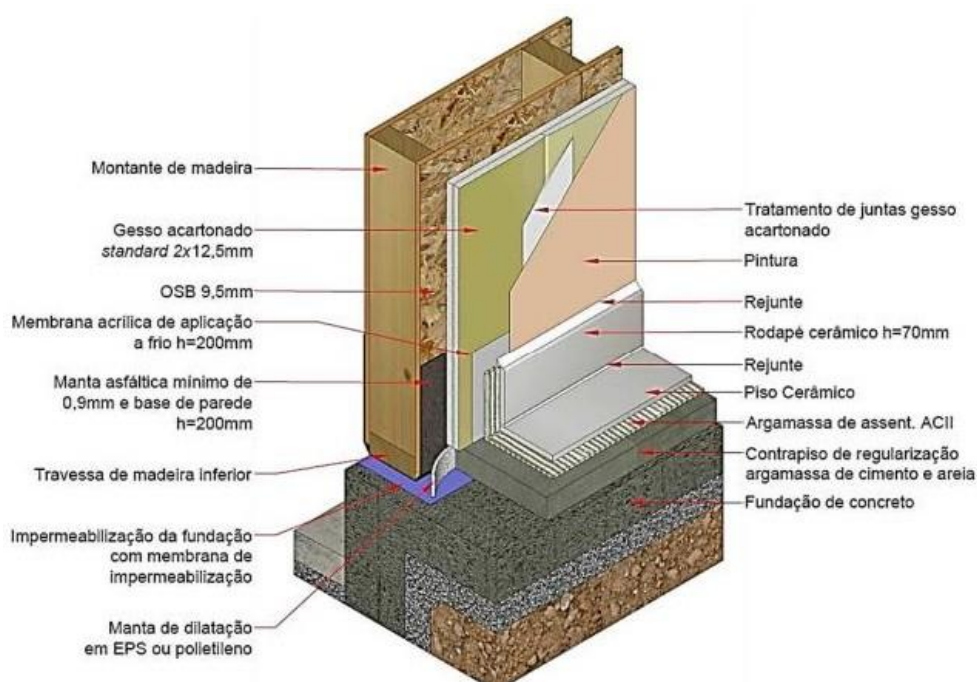


Fonte: Ecohabitat, 2021.

2.4.3 Fabricação dos painéis

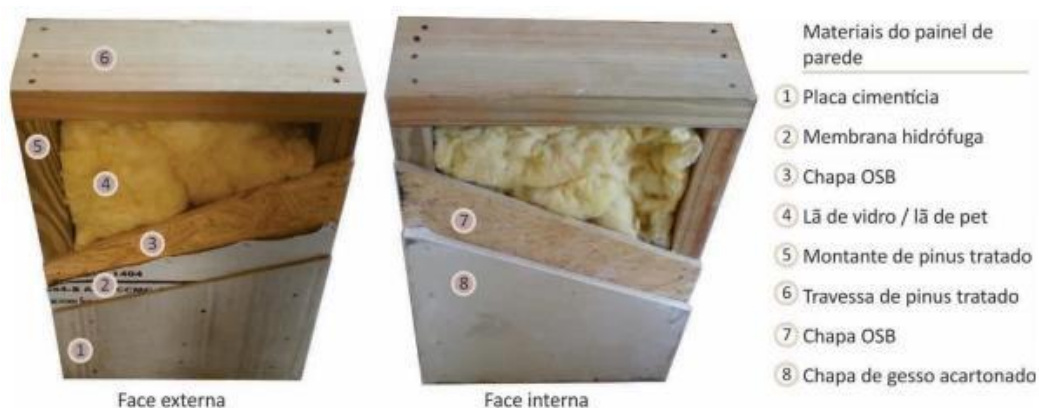
Os painéis de *Wood Frame*, são painéis estruturais de *OSB (Oriented Strand Board)* ou compensado, com dimensões entre 1.20 x 2.40m ou 1.20 x 3.00m e espessuras de 9.5, 11.1, 15.1 e 18.3mm. Composto por tiras de madeira reflorestadas e três camadas perpendiculares de tiras ligadas a uma resina sob alta temperatura e com grande resistência mecânica. Os painéis cumprem o papel das paredes e têm como função estrutural de contraventamento (CARDOSO, 2015). A Figura 7 apresenta a composição do painel em *Wood Frame*.

Figura 7: Composição do *Wood Frame*



Fonte: Sinat, 2017.

Com relação ao sistema de isolamento térmico dos painéis, segundo Allen e Thallon (2011), a parede de *Wood Frame* funciona como um envelopamento ao isolamento térmico. Mantendo o interior da edificação mais fresco no verão e mais quente no inverno, reduzindo o consumo de energia para o aquecimento e o resfriamento. Os materiais apropriados para um bom isolamento térmico são as mantas de lã de rocha ou lã de vidro. A Figura 8 apresenta o isolamento térmico do painel em *Light Wood Frame*.

Figura 8: Isolamento térmico

Fonte: Biomadeiras, 2018.

2.5 Etapas de montagem do sistema *Light Wood Frame*

No Brasil, já existem iniciativas de sistemas industrializados. A mão de obra é especializada e reduzida com um número de três a cinco montadores qualificados, no entanto ainda é difícil encontrar mão de obra qualificada.

Algumas empresas qualificam os seus profissionais nos EUA ou contratam brasileiros regressos, isso faz com que a empresa obtenha um respaldo e experiência para que a obra seja ágil e eficiente. O sistema implica na diminuição do tempo de construção, porém existem poucos fornecedores para alguns componentes ou até mesmo a inexistência deles.

De acordo com Silva (2004), o processo construtivo *Light Wood Frame* é composto por etapas de montagem, que abrangem desde a fundação à cobertura. A seguir serão listadas as etapas com seus respectivos processos.

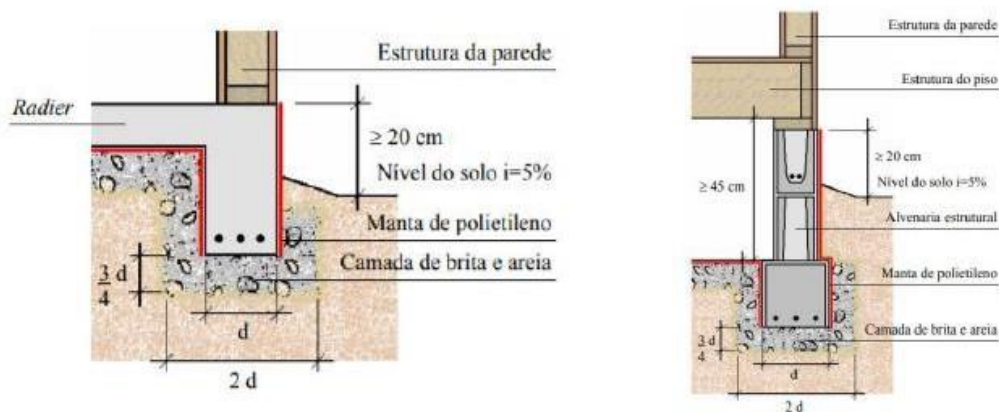
2.5.1 Fundação

É realizada de acordo com o solo ou as cargas do projeto. Nos casos de inverno rigoroso, as estruturas subterrâneas são as mais aconselháveis e são conhecidas como “*basement*”. Geralmente essas estruturas ficam a 60 cm abaixo do solo, pois desta forma, o congelamento não acomete o conforto térmico dos usuários em seus cômodos subterrâneos (MOLINA, 2010).

Segundo Vasques e Pizzo (2004), para a execução da fundação é essencial conhecer a carga envolvida no projeto e aspectos geotécnicos do local da construção. Levando em consideração os critérios citados, é necessário decidir a solução para a fundação, como por exemplo: sapatas corridas com vigas baldrame, sapatas de pescoço alongado e cintas de amarração ou lajes de tipo radier.

Para Nanami *et al.* (1998), ainda sobre os compartimentos subterrâneos é necessário pensar em sua ventilação. É possível ser construído em madeira ou concreto para o uso do “*basement*”. A distribuição das cargas é feita de forma vertical ao longo das paredes. As Figuras 9 e 10 apresentam a estrutura radier e “*basement*” e o travamento das vigas de perfil I, respectivamente.

Figura 9: Estrutura de fundação radier e uma fundação “*basement*”



Fonte: Silva, 2004.

Figura 10: Travamento das vigas de perfil I

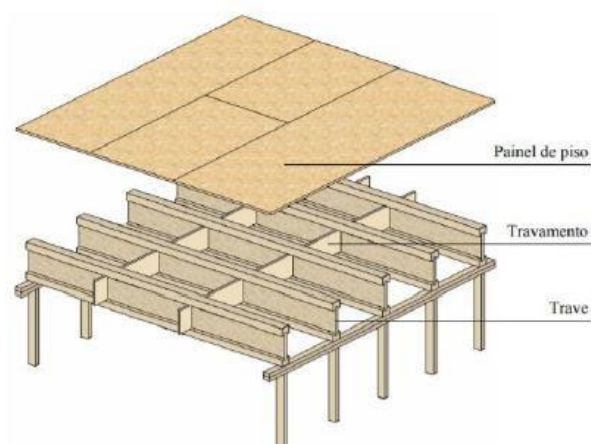


Fonte: Vasques e Pizzo, 2004.

2.5.2 Pisos

São utilizadas vigas “I” ou vigas com seções retangulares, em estilo de decks. Esses decks são formados por chapas em *OSB (Oriented Stran Board)* e proporcionam pisos mais leves e eficazes, pois resistem à esforços de flexão de peso próprio e suas ligações apresentam pequenos deslocamentos. Para melhorar a eficiência acústica recomenda-se a utilização de revestimentos de carpetes ou até mesmo pisos engenheirados que possuem manta intermediária, bem como contrapiso (MOLINA, 2010). A Figura 11 apresenta o elemento da estrutura do piso.

Figura 11: Elemento da estrutura do piso

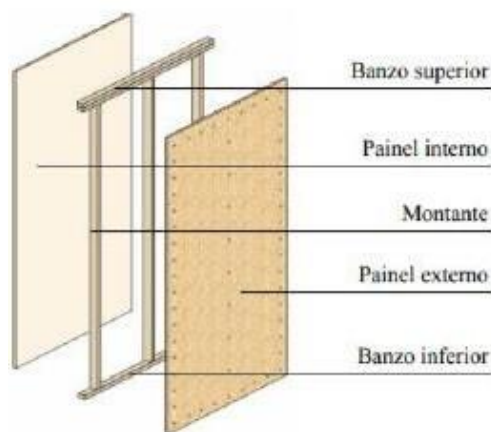


Fonte: Silva, 2004.

2.5.3 Paredes

Os componentes das paredes são compostos de montantes verticais e travessas horizontais juntamente com painéis *OSB*. Todos os elementos de ligação desses painéis devem ser galvanizados, como por exemplo, pregos (MOLINA, 2010).

Na Europa, os painéis são confeccionados em indústrias e transportados para os locais da obra (TÉCHNE, 2009). As Figuras 12 e 13 apresentam os componentes básicos da parede de *wood frame* e sua carga distribuída na mesma.

Figura 12: Componentes básicos da parede

Fonte: Silva, 2004.

Figura 13: Componentes do *Wood Frame* e carga distribuída

Fonte: Fastcon, 2022.

Os fechamentos dos quadros estruturais podem ser realizados com *OSB* (*Oriented Strand Board*) ou com o compensado. Os acabamentos internos e externos podem ser executados com a utilização de placas cimentícias e as chapas de gesso para divisória interna e não possuem função estrutural.

2.5.4 Sistemas elétrico e hidráulico

Os primeiros sistemas a serem executados no *Light Wood Frame* é o hidrossanitário, pois possui menor flexibilidade de mudança das tubulações. Os coletores e subcoletores de esgoto são introduzidos na laje da fundação e devem ser realizados de

forma precisa para que no caso de pias e alguns lavatórios, as tubulações verticais venham a coincidir com as paredes. Após o sistema hidráulico feito, deve ser executado o sistema elétrico, respeitando assim os limites para furação e cortes e são idênticas às utilizadas na construção convencional. A Figura 14 apresenta os sistemas elétricos e hidráulicos embutidos nas paredes.

Figura 14: Sistemas elétricos e hidráulicos embutidos nas paredes



Fonte: Santiago, 2021.

2.5.5 Revestimentos

Alguns revestimentos podem ser utilizados nas paredes internas ou externas da casa. No caso das paredes internas de banheiros e cozinhas poderão ser usadas placas cimentícias com alguns produtos anti-fungo (selador acrílico e pintura resina acrílica pura), ou até mesmo placas de gesso acartonado (tipo RU, resistente à umidade) revestidas com azulejo, por serem áreas expostas à água. Para as paredes externas é aconselhável o uso de revestimentos com madeira, *sidings* de aço, PVC ou até mesmo placas cimentícias, tijolos aparentes e argamassa armada. Também deve ser recomendado o uso da membrana de vapor conhecido como o “*TYVEK*” e que funciona

como isolante térmico ou o uso de mantas de lã de vidro no interior dos painéis (MOLINA, 2010).

Utiliza-se o drywall nos revestimentos internos, tanto de paredes como de forro (CARDOSO, 2015). O revestimento interno mais comum é o gesso acartonado, geralmente são chapas em gesso revestidas com papel cartão, com espessura de 5 a 12mm, fixadas em quadros estruturais com parafusos de rosca de cabeça cônica lisa com dimensão de 25 a 35mm e espaços de 40cm, podendo ser fixado também por grampos. A Figura 15 mostra a membrana e *siding* PVC.

Figura 15: Membrana e *siding* PVC



Fonte: Abbate, 2002.

2.5.6 Contraventamento

O sistema de contraventamento é realizado através da fixação de placas *OSB* nas faces externas das paredes, funcionando como contraventamento em ação diafragma. As chapas de *OSB* são o contraventamento vertical (MOLINA, 2010).

Figura 16: Parede em *Wood Frame* com contraventamento



Fonte: WordPress, 2020.

2.5.7 Telhado

O telhado é o último elemento a ser instalado na edificação. São posicionados sobre treliças de madeira que podem variar de 60 cm a 120 cm, ligadas por conectores conhecidos como “chapas de dentes estampados”. Pode ser reduzido o peso da cobertura em até 40%, por se tratar de sistema mais simples, sem necessidade de terças e caibros, e por utilizar madeira de baixa densidade e de pequenas seções, geralmente 38x90mm (MOLINA,2010).

Telhas do tipo *shingle* necessitam de um *deck* em *OSB* para funcionar como base das treliças. Já para as telhas cerâmicas, as mesmas são usadas diretamente nas ripas e em cima das treliças. É imprescindível a aplicação de manta na sobcobertura, garantindo assim a estanqueidade. Uma outra opção seriam as telhas metálicas, de fibrocimento e asfáltica. As treliças são as mais usadas, mas nem sempre as mais indicadas, depende do tipo de cobrimento, dos vãos e da altura livre. Em algumas situações, como telhados planos.

Também são posicionados caibros, ripas e contra caibros e fechamentos por chapas na cobertura se for telha cerâmica, no que tange a estrutura de estabilização. A Figura 17 mostra uma casa de *Wood Frame* em cobertura treliçada.

Figura 17: Casa de *Wood Frame* em cobertura treliçada



Fonte: Santiago, 2018.

2.5.8 Transporte

As etapas de produção de casas em *Wood Frame* são executadas nas indústrias madeireiras especializadas e em seguida, transportadas até a obra para montagem.

O processo de transporte envolve o içamento da peça, geralmente a parede, dentro da fábrica até o carregamento no caminhão para encaminhamento para a obra. A Figura 18 mostra uma parede sendo transportada da fábrica para a obra.

Figura 18: Transporte de peças



Fonte: *Stamade*, 2020.

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA CONSTRUTIVO *LIGHT WOOD FRAME*

3.1 Diretriz SINAT 005

O SINAT (Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais) é coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), estabelece critérios e diretrizes para a avaliação técnica de produtos inovadores, com o objetivo de fornecer dados atualizados sobre os serviços de água, esgoto, resíduos sólidos e drenagem urbana em todo o território nacional. Algumas das principais funcionalidades do SINAT incluem a coleta de dados, onde o sistema coleta informações dos municípios, empresas prestadoras de serviços de saneamento e outras entidades relacionadas, por meio de relatórios e formulários verificar sua conformidade com as normas técnicas e regulamentações aplicáveis.

Através da avaliação técnica realizada pelo SINAT, é possível fornecer aos fabricantes e usuários informações confiáveis sobre a adequação e confiabilidade desses produtos inovadores, facilitando sua utilização no setor da construção civil no Brasil.

De acordo com o SINAT N° 005 (BRASIL, 2017a), só é considerado uma inovação, o processo construtivo, um sistema ou subsistema que não possui norma técnica regularizada através da ABNT e aquelas nas quais não são executadas no Brasil.

O sistema *Light Wood Frame* é um dos sistemas inovadores avaliados pelo SINAT. Formado por uma estrutura leve em madeira de floresta plantada e faces externas

de contraventamento estruturais de chapas em madeira, misturado com outros materiais e assim garantindo o desempenho da edificação.

A diretriz SINAT, especifica alguns pontos técnicos para os componentes da parede de *Wood Frame*. Porém, estes pontos que se encontram em documentos técnicos, destacam-se pela necessidade de cálculos que verificam valores aceitos para os componentes de projeto e a validação do desempenho estrutural da edificação.

Segundo a Diretriz Sinat 005, o desempenho térmico conforme a zona bioclimática definida na ABNT NBR 15220-3.

O procedimento normativo é o procedimento simplificado, porém nos casos de avaliação de transmitância e capacidade térmica de sistema de vedação vertical externa e cobertura, estabelecidos pela norma ABNT NBR 15575-4, resultarem em desempenho térmico insatisfatório, deve-se avaliar a edificação como um todo.

Para os componentes do quadro estrutural da parede externa é composta por madeira de montantes e travessas em seção transversal nominal de 38mm x 89mm ou 38mm x 140mm, de espécies coníferas ou pinus, tratadas contra organismos xilófagos autoclavados e unidos com pregos anelados ou ardox. A seguir pode-se observar no Quadro 1, todos os componentes da face externa da parede externa

Quadro 1: Componentes da face externa da parede externa de *Light Wood Frame* segundo a Diretriz SINAT N° e DATec n°20

Componentes da face externa da parede externa		Diretriz SINAT N° 005 (BRASIL, 2017a) e DATec n° 20 (BRASIL, 2017b, 2018)
Chapa de fechamento e contraventam.	Tipo	OSB estrutural tipo 3 (uso externo)
	Espessura	9,5 mm (conforme EN300)
	Tratamento contra cupins	Tratamento com inseticida (ciflutrina, cipermetrina ou fipronil), conforme ABNT NBR 16143 (2013b)
	Tratamento contra fungos apodrecedores	Não possui tratamento fungicida. O índice de umidade deve ser no mínimo 2% e no máximo 12% (BRASIL 2017b); Perda de massa < 10%, conforme ASTM D 2017-05:2005 (BRASIL, 2017a)
	Dispositivos de fixação metálicos	Grampos galvanizados com comprimento mín. de 50mm espaçados a cada 150mm ou pregos anelados com diâmetro mín. de 2,5mm, comprimento mín. de 50mm e espaçados a cada 200mm
Detalhe para durabilidade	Proteção da base do quadro estrutural ("U")	Manta asfáltica impermeabilizante industrializada, de 0,9mm de espessura, aplicada até a altura de 20cm em ambas as faces do painel de parede sobre as chapas OSB externa e interna
Barreiras impermeáveis à água e permeáveis ao vapor	Tipo	Permeabilidade ao vapor de água médio de $1,30 \times 10^{-2} \text{ng/Pa.s.m}$ e gramatura de 101,0g/m ²
	Dispositivos de fixação metálicos	Sobre a face externa da chapa OSB com grampos galvanizados tipo 80F com 6mm de comprimento e espaçados a cada 40cm
Revestimento / Fechamento externo	Tipo	Placa cimentícia Classe A3
	Espessura	8mm
	Juntas	Espaçamento de 3mm a 5mm; tipo aparente ou dissimulada
	Dispositivos de fixação	Parafusos do tipo rosca soberba, cabeça cônica estriada com comprimento de 25mm a 35mm; espaçamentos determinados pelo fornecedor da placa cimentícia
Acabamento / Finalização	Pintura	As placas cimentícias recebem uma demão de selador acrílico e, posteriormente, uma demão de textura acrílica (BRASIL, 2017b) ou são revestidas com argamassa cimentícia "base coat" com 5mm e textura acrílica com 3mm de espessura (BRASIL, 2018)
	Cantoneiras metálicas	Nas extremidades de paredes e requadros de aberturas isentas de contramarcos, são aplicadas cantoneiras perfuradas (do tipo "L") em PVC ou metálicas galvanizadas, revestidas com massa acrílica (BRASIL, 2017b) ou com argamassa polimérica de base cimentícia (<i>base coat</i>) (BRASIL, 2018), sendo posteriormente pintadas
	Pingadeiras	Em aço galvanizado (Z275) para ambientes rurais ou urbanos); nos peitoris da janela; na interface entre a parede de fachada e fundação; nas juntas horizontais entre pavimentos

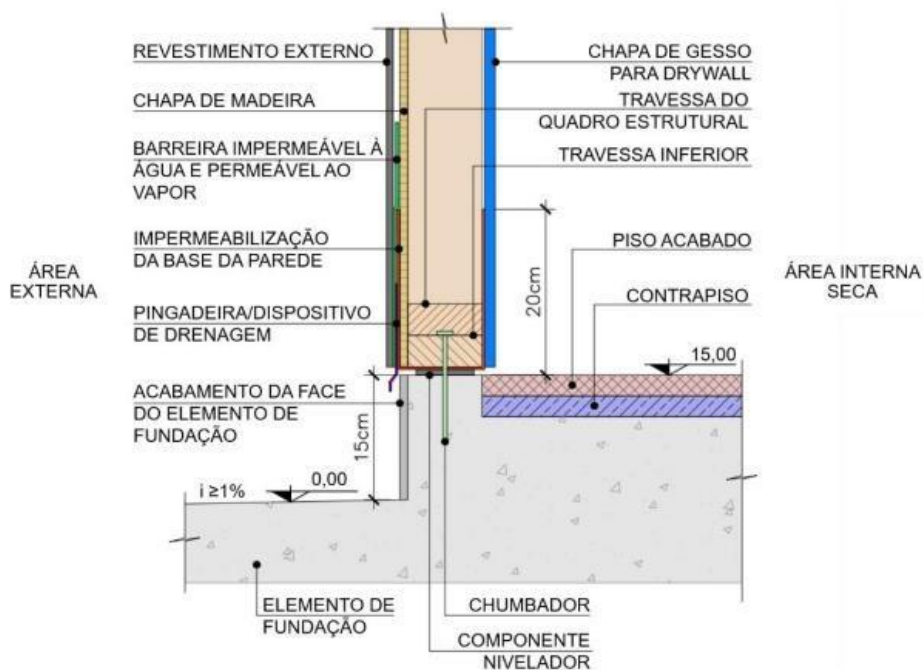
Fonte: Guessser, 2020.

Em casos de casas térreas, a fundação em concreto, em contato com as paredes, recebe uma manta asfáltica impermeabilizante em "U", com função de proteger a base e laterais inferiores sobre as chapas OSB do painel, contra a umidade. E sobre a chapa OSB, uma membrana hidrófuga é colocada, funcionando como uma barreira

impermeável à água e permeável ao vapor, finalizando e fechando as paredes com placas cimentícias e juntas contrárias às chapas de OSB.

Colocadas as cantoneiras e pingadeiras, o selador acrílico e textura acrílica ou argamassa cimentícia e textura acrílica são aplicadas sobre o acabamento, conforme pode-se observar na Figura 19:

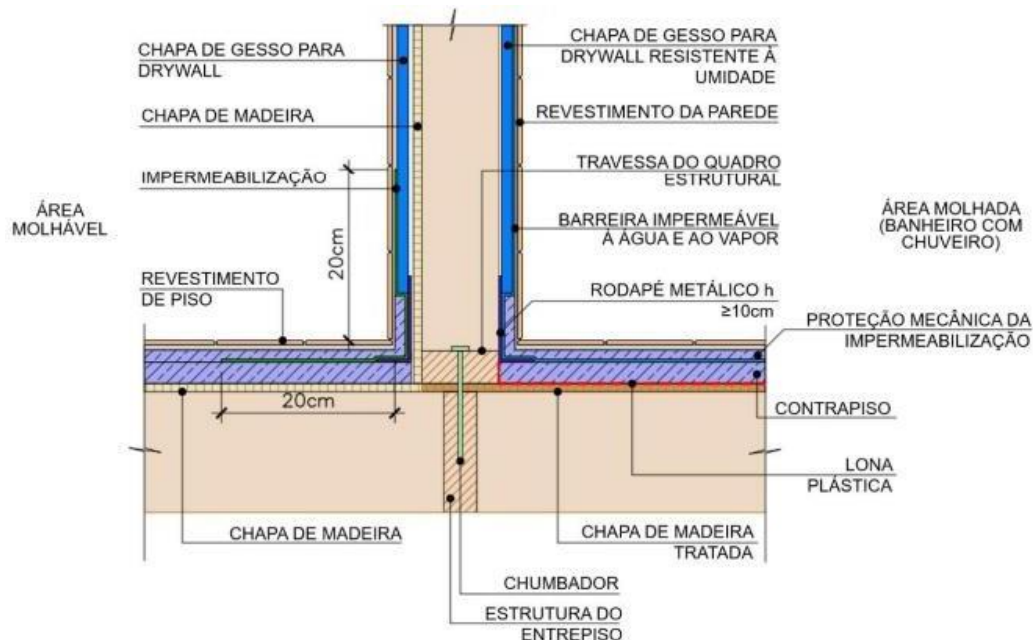
Figura 19: Detalhamento da face externa das paredes do piso térreo



Fonte: Guessser, 2020.

Também pode ser aplicada nas faces internas dos quadros estruturais, uma chapa de OSB, proporcionando uma maior resistência às paredes na fixação de mobiliário. Sobre essa chapa de OSB é pregado o gesso acartonado *Standard* em áreas secas ou àquelas áreas molháveis e molhadas que sejam resistentes à umidade, de acordo com a Figura 20:

Figura 20: Detalhamento da face interna molháveis e molhadas das paredes sobre o entrepiso de madeira



Fonte: Guessier, 2020.

Alguns outros detalhes para evitar o contato da água, são mencionados a seguir:

- Rodapé metálico tipo cantoneira em “L”;
- Material impermeável à água e ao vapor sobre o gesso;
- Revestimento cerâmico.

3.2 Norma Brasileira NBR 15220: Desempenho Térmico de Habitações (ABNT, 2005)

Dividida em cinco partes, a norma brasileira NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005), apresenta em sua parte 1 as grandezas mencionadas conforme a condutibilidade térmica dos materiais, dos elementos e

componentes construtivos quanto às suas características e de ambiente quanto às grandezas de clima e fisiologia humana de condicionamento térmico. Desta forma é possível enfatizar as seguintes:

- Resistência térmica total (R_T) – a soma das resistências superficiais internas e externas medidas em $[(m^2 \cdot K) / W]$;
- Transmitância térmica (U) – o oposto da resistência térmica total medida em $[W / (m^2 \cdot K)]$;
- Capacidade térmica (C) – é a quantidade de calor necessária para a variação unitária de temperatura em um sistema medida em $[J/K]$;
- Capacidade térmica de componentes (C_T) – é o quociente da capacidade térmica de uma composição por sua área medida em $[J/(m^2 \cdot K)]$;
- Absortância à radiação solar (α) – é o quociente de taxa da radiação solar incidente sobre esta mesma superfície;
- Conforto térmico – é a satisfação do indivíduo com as condições térmicas do ambiente.

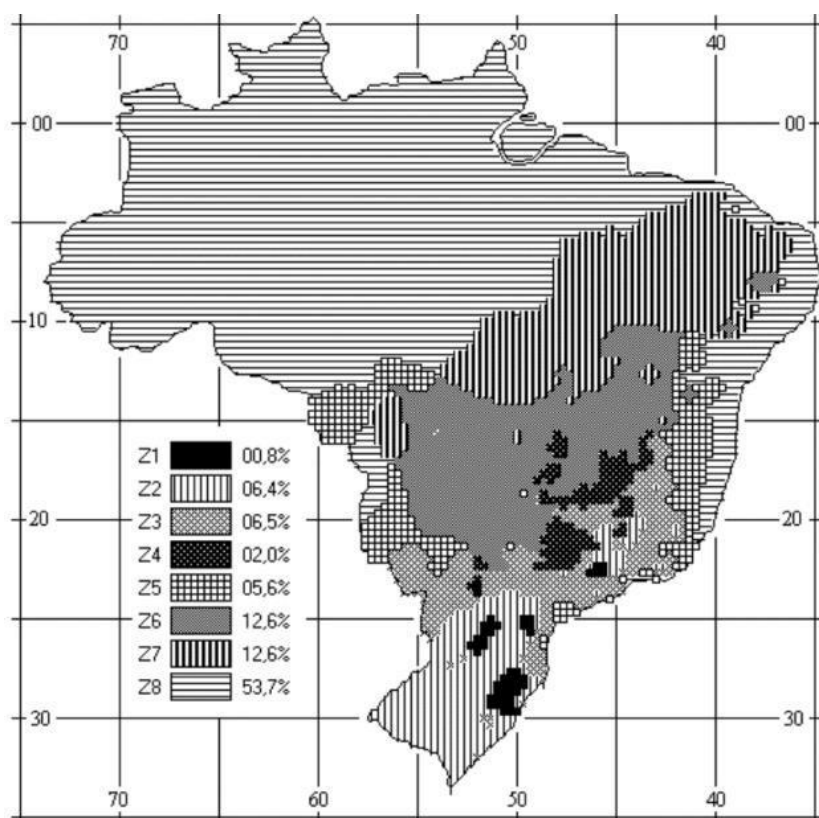
Ao conhecer a zona bioclimática em que uma determinada região se enquadra, os profissionais podem projetar edifícios com estratégias adequadas de isolamento térmico, ventilação natural, uso de sombreamento, aproveitamento de energia solar, entre outros. Essas medidas visam maximizar o conforto térmico dos ocupantes, reduzir o consumo de energia para aquecimento ou resfriamento artificial e promover a sustentabilidade ambiental.

As zonas bioclimáticas podem variar em escala global, regional ou local, dependendo do propósito da classificação. Diferentes países e organizações podem adotar sistemas de classificação próprios, levando em consideração as particularidades climáticas de cada região.

Em resumo, a zona bioclimática é uma ferramenta que auxilia no entendimento e no planejamento de soluções adequadas para as condições climáticas de uma região, visando o conforto térmico e a eficiência energética em edificações e espaços urbanos.

De acordo com a norma, o Brasil é dividido em oito zonas bioclimáticas, e cada uma tem sua característica de acordo com a região geográfica e os elementos climáticos influenciam nas descrições do ambiente construído x conforto humano. A relação de 330 cidades descritas nas zonas bioclimáticas está inserida no Anexo A, da parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005), cada uma com sua classificação de climas. A Figura 21 informa as oito zonas bioclimáticas do território brasileiro.

Figura 21: Zoneamento climático do território brasileiro



Fonte: Norma NBR 15220 – ABNT, 2005.

Estabelecendo a soma de indicações das estratégias construtivas dentro das oito zonas bioclimáticas e suas diretrizes, são indicados os tamanhos e proteções das vedações

externas, aberturas para ventilação, tipos de cobertura e condicionamentos térmicos passivos conforme indicado na norma.

3.3 Norma Brasileira NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013)

A NBR 15.575 – Parte 4 - Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho, conhecida somente por norma de desempenho, entrou em vigor em 19 de julho de 2013 e, desde então, é aplicada às edificações habitacionais com qualquer número de pavimentos. O foco da referida norma está no desempenho da edificação frente ao seu uso e não na prescrição e normalização de como será construída a edificação.

Normas de desempenho foram estabelecidas buscando atender às exigências dos usuários, que, no caso desta Norma, referem-se a sistemas que compõem edificações habitacionais, independentemente dos seus materiais constituintes e do sistema construtivo utilizado (ABNT, 2013).

O objetivo da norma de desempenho é o cumprimento de requisitos de qualidade e a instituição de um nível mínimo de desempenho ao longo da vida útil dos principais elementos que compõem uma edificação habitacional. Ela não tem função de orientar a escolha do sistema construtivo por parte do projetista, mas deverá atender a condições pré-estabelecidas independentemente do método adotado. O estabelecimento de padrões mínimos de qualidade, baseando-se no desempenho e na durabilidade dos sistemas,

convém para balizar o mercado da construção civil, que atua tornando o mercado mais regulado e dá segurança jurídica para os consumidores.

De todas as normas brasileiras em vigor até o momento são denominadas prescritivas, ou seja, é uma série de requisitos e critérios exigidos para um produto ou procedimento específico, estabelecidos pelo seu uso consagrado ao longo do tempo, buscando atender aos requisitos dos usuários de maneira indireta. As normas prescritivas são quantitativas e referentes aos produtos. A norma de desempenho, ao contrário das demais, determina as necessidades dos usuários que a construção como um todo deve atender, sendo um complemento às normas prescritivas, sem claro substituí-las.

Por sua vez, a NBR 15.575 segue uma estrutura que para cada necessidade do usuário e condição de exposição da edificação aparece uma sequência de requisitos de desempenho (qualitativos), critérios de desempenho (quantitativos) e respectivos métodos de avaliação. Para o melhor entendimento, definem-se requisitos de desempenho como condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam atender aos requisitos do usuário. E critérios de desempenho podem ser entendidos como especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados.

Por ser uma norma que se aplica a todos os tipos de edificações habitacionais, foi necessário criar um conjunto normativo e dividi-lo em seis partes.

Cada parte da norma foi organizada por elementos da construção, percorrendo uma sequência de exigências relativas à segurança (desempenho mecânico,

segurança contra incêndio, segurança no uso e operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico e acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade acessibilidade, conforto tátil) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental) (ABNT, 2013).

As partes compreendem, a saber:

- Parte 1: Requisitos Gerais:
 - Essa parte da norma estabelece exigências do edifício como um todo, remetendo, quando necessário, às partes específicas da ABNT NBR 15.575:2013 (estrutura, piso, vedações verticais, coberturas e sistemas hidrossanitários), sempre com o intuito de alcançar o desempenho mínimo, intermediário ou superior.

Esses requisitos gerais englobam as interações entre os diferentes elementos da obra, abrangendo todos os edifícios residenciais, sendo aplicável para qualquer número de pavimentos.

Além disso, a norma reflete sobre aspectos e critérios de natureza geral em relação ao conteúdo da norma, como por exemplo: vida útil de projeto; e definição de responsabilidades e parâmetros de desempenho mínimo (compulsório), intermediário e superior.

- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais:
 - Há a análise dos sistemas estruturais, estabelecendo os critérios de estabilidade e de resistência do imóvel. Nesse contexto, ocorre a definição do método de avaliação a ser utilizado em relação aos diversos tipos de impactos, com o intuito de evitar falhas como destacamentos, fissuras ou mesmo rupturas.

A ABNT NBR 15.575:2013 não altera a forma prescritiva para projetar e construir novas estruturas, que adotarão as normas específicas existentes. Todavia, novos materiais e sistemas construtivos serão adotados critérios de estabilidade e segurança estrutural, por meio de cálculos, modelos e ensaios.

Logo, será possível o ajuizamento do desempenho esperado com a entrada de novas tecnologias. Destaca-se a separação dos critérios aplicáveis ao estado limite último (ruína) e ao estado limite de serviço (de utilização).

- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos:
 - A norma de desempenho define o sistema de pisos como:

Sistema horizontal ou inclinado, composto por um conjunto parcial ou total de camadas (por exemplo: camada estrutural, camada do contrapiso, camada de fixação, camada de acabamento) destinado a atender à função de estrutura, vedação e tráfego (NBR 15.575, 2013).

Portanto, a discussão sobre os pisos internos e externos inclui o suporte estrutural, o contrapiso e a camada de revestimento/acabamento,

considerando os elementos tanto para áreas de uso privativo quanto para áreas de uso comum.

Há o destaque sobre o desempenho do sistema de piso em face da interação de todos os componentes, e não apenas da camada de acabamento. Todavia, a norma não aborda exaustivamente os requisitos de limpeza ou manchamento, devido à falta de estudos técnicos mais aprofundados.

Existem definições sobre o coeficiente de atrito (propriedade intrínseca da superfície do piso em contato com calçados, móveis e outros) e resistência de escorregamento (decréscimo intenso e rápido no valor de coeficiente de atrito entre o corpo em movimento e a superfície de apoio).

- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE):
 - Os sistemas de vedações internas e externas integram-se com os demais elementos da edificação, interferindo no desempenho da mesma.

As vedações verticais podem ter função estrutural, ou não. Em caso positivo, deverão ser descritas no projeto, com a indicação da norma utilizada para o seu dimensionamento.

- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas:

- Por ser mais exposto à ação dos agentes externos (radiação direta do sol, condições de chuva e outros), o sistema de cobertura deve integrar-se aos demais sistemas que constituem a edificação habitacional, com o intuito de protegê-los e prover estanqueidade, desempenho térmico e acústico adequados.

A ABNT NBR 15.575:2013 define os requisitos para o desempenho mínimo das coberturas, com o intuito de garantir o conforto do usuário da edificação, preservar a saúde das pessoas e a durabilidade do corpo da construção.

Destaca-se a segurança contra incêndio, referindo-se à reação ao fogo dos materiais de revestimento e acabamento. Além disso, determina-se para a resistência ao fogo da estrutura da cobertura o valor mínimo de 30 minutos, atendendo à norma NBR 14.432 (ABNT, 2001). Nesta parte da NBR 15.575 (ABNT, 2013), há a definição de requisitos sobre a estanqueidade à água, à ação do vento e ao conforto acústico e térmico em relação às vedações verticais, e ainda os critérios relativos à segurança ao fogo.

- Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários:
 - Os sistemas hidrossanitários são formados pelos sistemas prediais de água fria e de água quente; de esgoto sanitário e ventilação; e de águas pluviais. Logo, são responsáveis diretos pelas condições de saúde da habitação, sendo considerado na NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Devido à importância das instalações hidrossanitárias, elas devem integrar-se com os outros sistemas da edificação, com o intuito de garantir a segurança dos usuários e não prejudicar o desempenho como um todo.

Esta parte da norma de desempenho faz reflexão sobre diversos aspectos: a durabilidade dos sistemas; a previsão e antecipação de critérios para a manutenção da edificação e suas partes; o funcionamento dos sistemas hidrossanitários; a importância da separação física entre os sistemas de água potável e não potável, além de trazer considerações sobre o reuso da água.

Quanto à avaliação de desempenho, a norma 15.575 (ABNT, 2013) visa analisar a adequação ao uso de um sistema ou de um processo construtivo destinado a cumprir uma função, independentemente da solução técnica adotada. Para atingir esta finalidade, na avaliação do desempenho é realizada uma investigação sistemática baseada em métodos consistentes, capazes de produzir uma interpretação objetiva sobre o comportamento esperado do sistema nas condições de uso definidas. Em função disso, a avaliação do desempenho exige o domínio de uma ampla base de conhecimentos científicos sobre cada aspecto funcional de uma edificação, sobre materiais e técnicas de construção, bem como sobre as diferentes exigências dos usuários nas mais diversas condições de uso (ABNT, 2013).

Para o desempenho térmico, a norma NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece características que devem atender aos requisitos de desempenho térmico, primeiramente considerando a zona bioclimática definida pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005), no item 11.

Na parte 4 da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), o que se propõe é a análise do desempenho térmico através da realização de dois métodos: o método informativo e o método normativo. O primeiro método é formado pelo atendimento dos critérios e requisitos do item 11 da NBR 15575-4 e NBR 15575-3 (ABNT, 2013). O segundo método pretende buscar a avaliação do desempenho da edificação já construída.

Nesta pesquisa, a competência é a análise do desempenho térmico através de medições *in loco* no objeto de estudo já construído e a análise projetual como um todo para os quesitos insolação e sombreamento e sua implantação.

A norma ainda recomenda que os requisitos térmicos de desempenho no verão a edificação devem mostrar as condições térmicas no interior do edifício e que estas devem ser melhores ou iguais às do ambiente externo e que estejam à sombra, em dia típico de verão (ABNT, 2013).

Semelhante ao desempenho térmico no verão, o desempenho térmico no inverno, estabelece que a edificação deve demonstrar condições térmicas no interior do edifício habitacional que sejam melhores que o ambiente externo, em dia típico de inverno por meio do critério de valores mínimos de temperatura, nas zonas bioclimáticas de 1 a 5. Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8 não necessitam realizar a avaliação de desempenho térmico de projeto para o inverno (ABNT, 2013).

Para o desempenho acústico, conforme a NBR 15575, as edificações habitacionais são obrigadas a apresentar o isolamento acústico adequadamente a vedações externas e que se refere aos ruídos aéreos oriundos do exterior da edificação habitacional com isolamento acústico adaptado às áreas comuns e privativas e para áreas privativas comuns de unidades autônomas diferentes.

(Página intencionalmente deixada em branco)

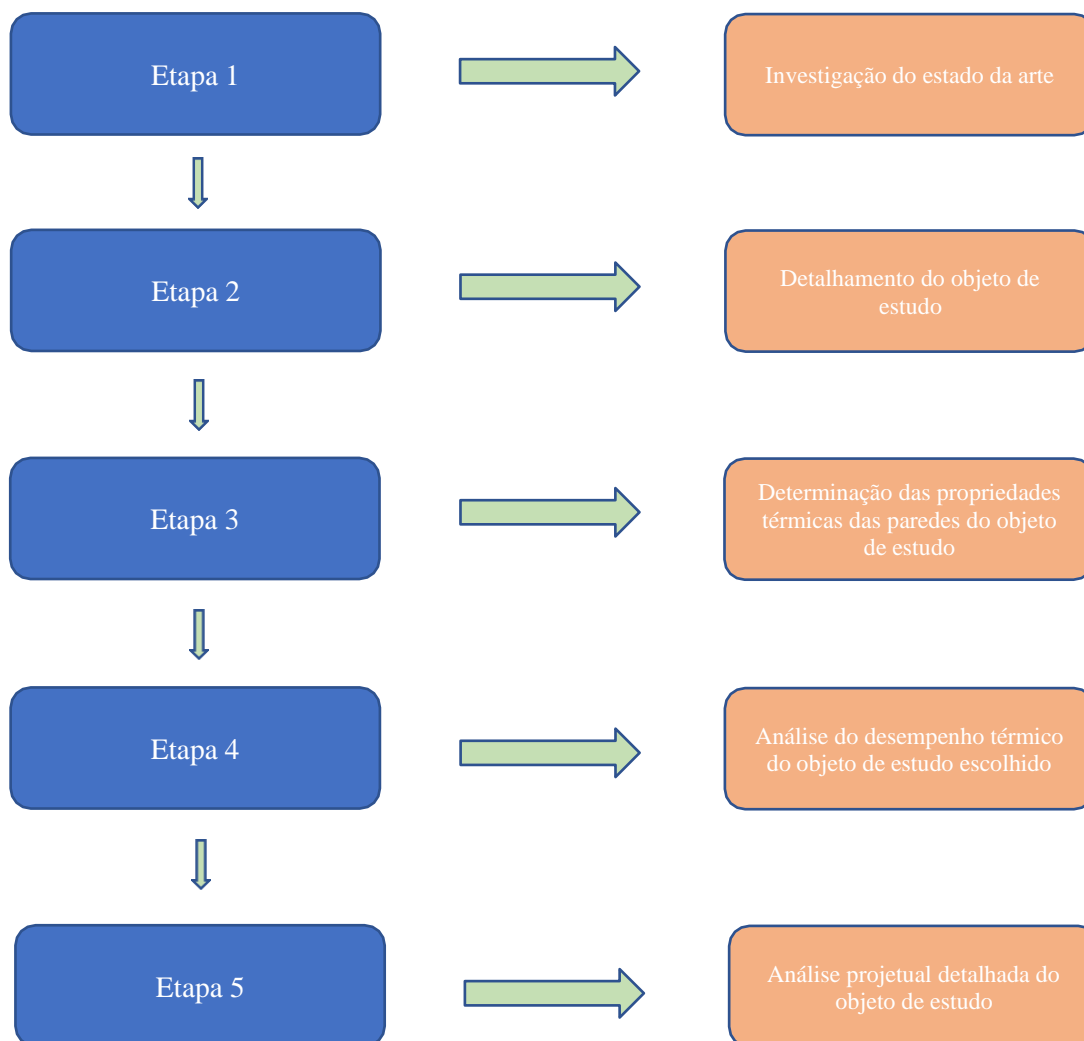
4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Estrutura Metodológica

A presente pesquisa científica foi basicamente experimental, sendo dividida em cinco etapas, a saber:

- Etapa 1: Investigação do estado da arte referente à industrialização na construção civil e ao sistema construtivo *Light Wood Frame*;
- Etapa 2: Detalhamento do objeto de estudo referente à uma habitação unifamiliar em *Light Wood Frame* localizada na cidade de São Carlos/SP;
- Etapa 3: Determinação das propriedades térmicas das paredes da habitação do objeto de estudo;
- Etapa 4: Análise do desempenho térmico do objeto de estudo escolhido;
- Etapa 5: Análise projetual detalhada do objeto de estudo.

A Figura 22 apresenta a estrutura metodológica.

Figura 22: Estrutura Metodológica

Fonte: Autora, 2022

4.2 Estudo de caso: residência unifamiliar em *Light Wood Frame* localizada na cidade de São Carlos/SP

4.2.1 Descrição do local e das condições climáticas de análise

A avaliação de desempenho térmico foi realizada em uma habitação unifamiliar composta por painéis de vedação vertical em *Light Wood Frame*, localizada na cidade de São Carlos/SP, a 22°01' de latitude Sul, 47°53' de longitude oeste e altitude média de 856m. Essa unidade habitacional encontra-se em um condomínio residencial de alto

padrão na cidade de São Carlos. A Figura 23 apresenta a imagem de satélite da localização da unidade habitacional.

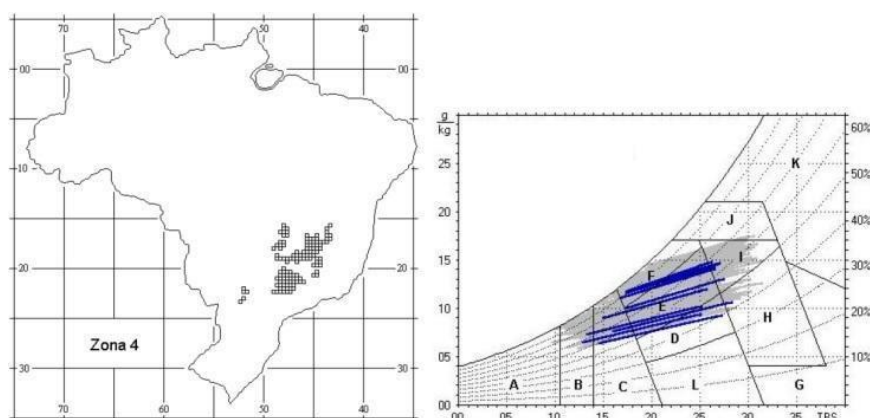
Figura 23: Imagem de satélite da localização do objeto de estudo à esquerda e em zoom à direita.



Fonte: Google Earth. Adaptado pela autora, 2022

O município de São Carlos/SP consta na plataforma Projeteer, desenvolvido pelo PROCEL/ELETRÓBRÁS em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, sendo utilizado para os dados bioclimáticos que serão apresentados na análise de projeto da habitação estudada. Além disso, a cidade está localizada na Zona Bioclimática 4, em consonância com o zoneamento bioclimático, conforme a norma NBR 15220 (ABNT, 2005) e a Carta Bioclimática da ZB4 que representa a cidade de São Carlos Bioclimática, como é possível observar na Figura 24.

Figura 24: (a) Zona Bioclimática e (b) Carta Zona Bioclimática 4

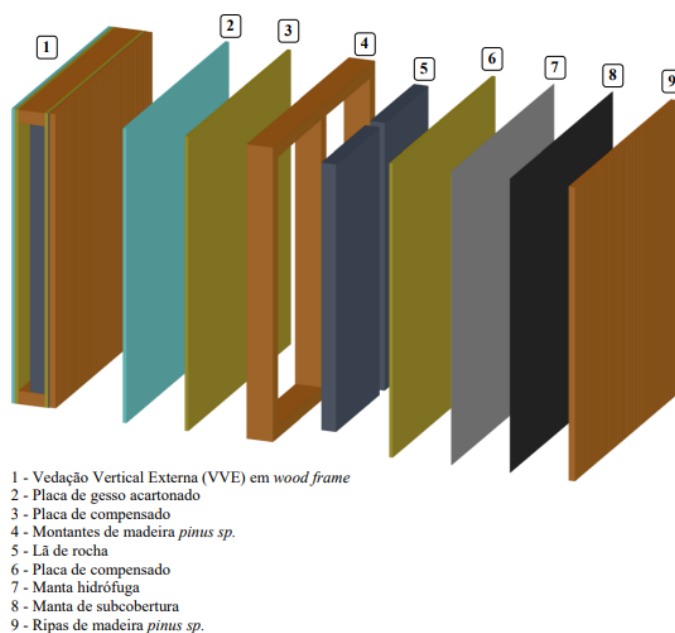


Fonte: Murari, 2018

4.2.2 Composição dos Painéis de Vedação Vertical em *Light Wood Frame*

Os painéis são compostos de sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) para o objeto estudado, e são compostos por diferentes camadas, conforme demonstrado na figura 25.

Figura 25: Esquema de Vedação Vertical externa em *Light Wood Frame* e suas camadas

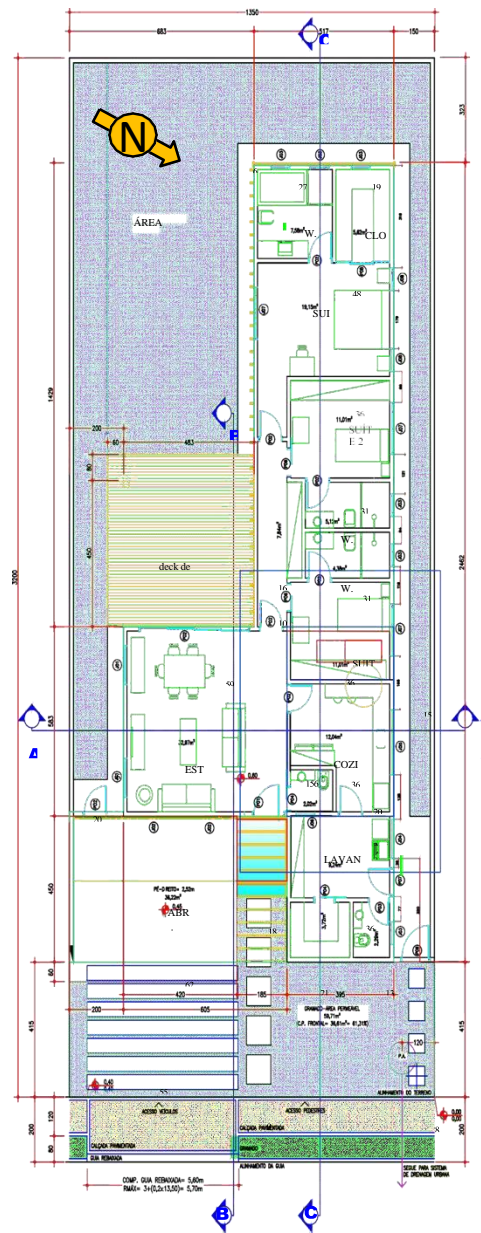


Fonte: Murari, 2018

4.2.3 Descrição da unidade habitacional (esquema das paredes Murari)

A unidade habitacional de estudo, composta de painéis montados por madeira revestidos de placas de gesso acartonado e em áreas molhadas com revestimento cerâmico, apresenta doze ambientes, sendo estes, garagem, sala de estar, lavabo, cozinha, lavanderia, despensa, banheiro da lavanderia, área gourmet, suíte 1 com closet, suíte 2, suíte 3 e uma área verde (permeável). A Figura 26 apresenta a planta da habitação e a Figura 27 mostra a fachada da unidade habitacional de estudo.

Figura 26: Planta da Casa – Térreo



Fonte: Stamato, 2022.

Figura 27: Fachada principal da habitação do objeto de estudo



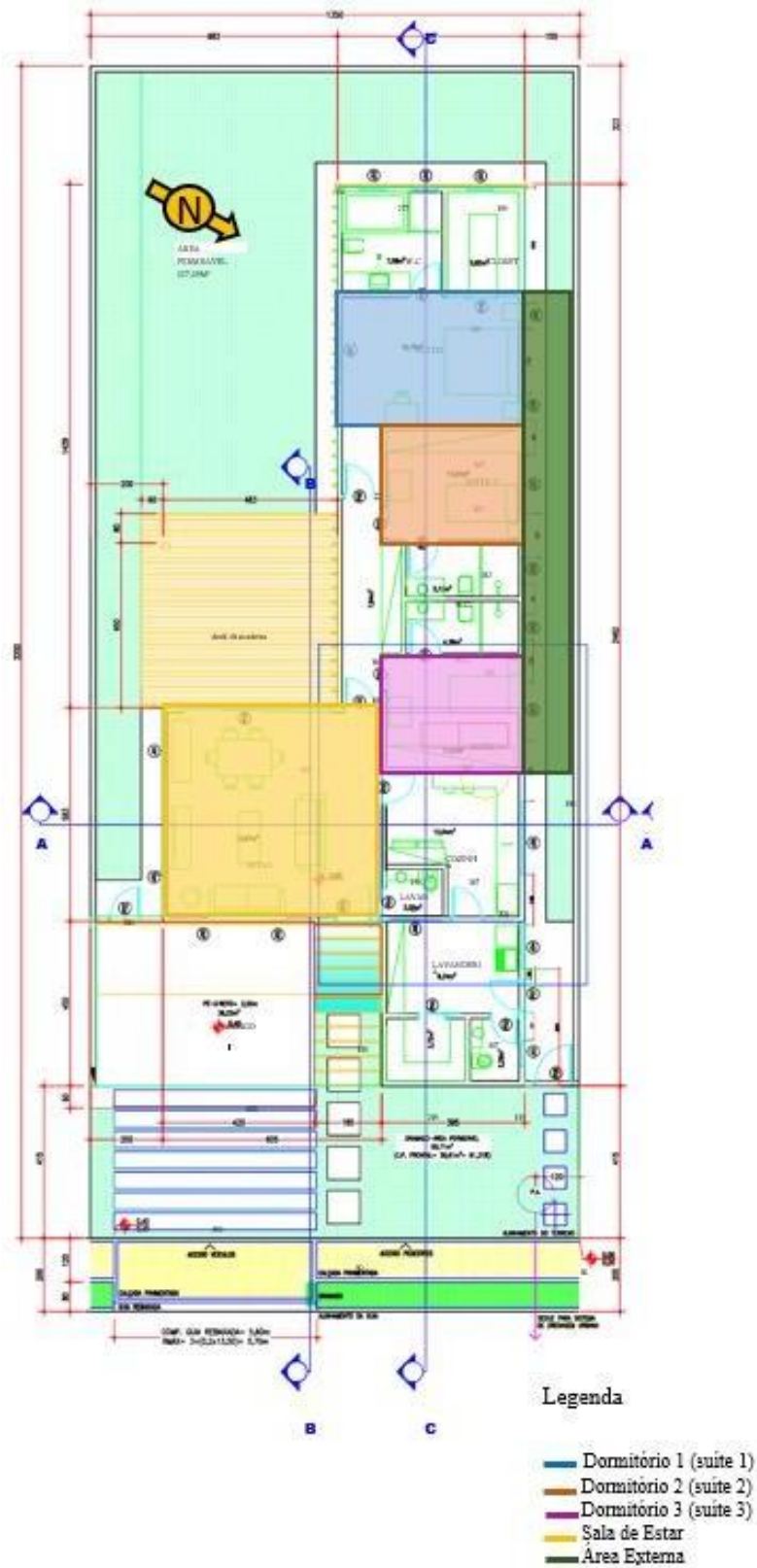
Fonte: Google Earth. Adaptado pela autora, 2022

Cabe destacar que as esquadrias são feitas em alumínio pintado e vidro, e na sala de estar estão instaladas esquadrias em madeira e vidro.

4.3 Avaliação do desempenho térmico da unidade residencial em *Light Wood Frame*

Para a avaliação do desempenho térmico foram realizadas medições nos ambientes de maior ocupação, ou seja, nas três suítes, na sala de estar e na área externa localizada na posição entre os dormitórios mencionados, conforme mostra o detalhamento de projeto na Figura 28 a seguir.

Figura 28: Ambientes de maior ocupação do objeto em estudo na habitação em *Light Wood Frame* utilizados no recolhimento de dados de temperatura interna do ar



Fonte: Stamato, 2022.

Na presente pesquisa, a avaliação de desempenho térmico apresentadas conforme as normas NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013), para medições internas e externas de temperatura do ar foram realizadas através de ensaios de campo, por meio da coleta de dados com medidores digitais *Datalogger* Testo 175 H1, para levantamento de temperatura conforme demonstrado na Figura 29.

Figura 29: Medidor Digital Datalogger Testo 175H1 utilizado para a análise de dados de Temperatura interna e externa do ar



Fonte: Autora, 2022

A norma ISO 7726 (ISO, 1998) ressalta a determinação quantitativa dos parâmetros e indica que a altura dos sensores de medição seja feita a 1,10m do chão.

Os equipamentos e sensores foram posicionados na altura mencionada conforme indicação da norma. Para as medições da temperatura externa do ar, o medidor foi colocado em local protegido de fenômenos climáticos.

Foram coletados os dados das temperaturas externas e internas do ar, o que possibilitou a avaliação de desempenho térmico nos períodos de solstício de inverno e solstício de verão, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1: Período de coleta de dados da Temperatura interna e externa do ar

Estação do Ano	Mês	Ano	Período
Inverno	Junho	2021	22/06 a 24/06
Verão	Dezembro	2021	18/12 a 20/12

Fonte: Autora, 2022

A avaliação do objeto estudado para o desempenho térmico por intermédio das medições *in loco* foi realizada procedendo conforme a norma NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho, Anexo A da Parte 1.

4.4 Análise projetual detalhada

Para os estudos de detalhamento de projeto do objeto de estudo dessa pesquisa, foram analisados o sombreamento e insolação, bem como o estudo das cartas solares. Foram realizadas simulações no software Sketchup da planta da unidade habitacional do objeto de estudo nos períodos de inverno e verão às 9h, 12h, 15h e 18h. Tais períodos foram escolhidos em função do pico de horário de insolação.

Essa análise e avaliação tem como objetivo, de forma global, elencar a problemática acerca do tema de pesquisa e verificar requisitos bioclimáticos que possam interferir no desempenho térmico da residência, como insolação e sombreamento.

(Página intencionalmente deixada em branco)

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados da pesquisa estão organizados e elencados a partir de três aspectos:

- 1) Propriedades térmicas das vedações verticais e horizontais de uma habitação em Wood Frame localizada na cidade de São Carlos/SP;
- 2) Desempenho térmico de alguns ambientes analisados do projeto de estudo de caso;
- 3) Análise de detalhamento do projeto do objeto de estudo (análise projetual).

5.1 Avaliação das Propriedades Térmicas

5.1.1 Cálculos aproximados da transmitância e capacidade térmica do objeto de estudo (paredes)

5.1.1.1 Fachada sul (paredes externas)

A resistência térmica é o somatório dos elementos e componentes das resistências superficiais (interna e externa) e das camadas que compõe o material, verificando o seu fluxo de calor, ou seja, a capacidade de resistência à passagem de calor.

Sua equação é expressa da seguinte forma:

$$RT = e/\lambda = ea/\lambda a + ei/\lambda i + eg/\lambda g + eh/\lambda h + ec/\lambda c + ep/\lambda p + er/\lambda r$$

Onde e é a espessura da camada do material e λ é a condutividade térmica característica da cada material. Na norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005), pode ser encontrado os dados de condutividade térmica de diversos materiais, sendo:

- a – madeira pinus = 0,29 W/ (m.k)
- i – lã de rocha = 0,045 W/ (m.k)
- g – gesso acartonado (*drywall standard*) = 0,35 W/ (m.k)
- h – manta hidrófuga *tyvek* = 0,045 W/ (m.k)

- c – câmara de ar = 0,14 W/ (m.k)
- p – placa de compensado = 0,15 W/ (m.k)
- r – régua de madeira (*sidding de pinus*) = 0,23 W/ (m.k)

Portanto, o resultado da resistência térmica das paredes externas da fachada sul é determinado por:

$$RT = 0,038/0,29 + 0,09/0,045 + 0,0125/0,35 + 0,02/0,045 + 0,001/0,14 + 2x(0,012/0,15) + 0,02/0,23$$

$$RT = 0,13 + 2,00 + 0,03 + 0,44 + 0,007 + 2x(0,08) + 0,09$$

$$\mathbf{RT = 2,86 m^2.k/W}$$

O cálculo da transmitância térmica é o inverso da resistência térmica total, com a função de quantificar o coeficiente global de transferência de calor.

Sua equação é expressa da seguinte forma:

$$U = 1/RT = 1/2,86$$

$$\mathbf{U = 0,35 m^2.k/W}$$

Para a capacidade térmica, o cálculo é o quociente da capacidade térmica de um componente pela sua área e tem a função de calcular a quantidade necessária de calor para o sistema, tendo materiais distintos ou não para uma mesma fonte de calor.

E a equação expressa é a seguinte:

$$C_T = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

Onde e é a espessura do material, c é o calor específico e p é a densidade de massa aparente.

$$CT = (0,038 \times 1000 \times 1,34) + (0,09 \times 200 \times 0,75) + (0,0125 \times 1000 \times 0,84) + (0,02 \times 100 \times 0,75) + (0,02 \times 1270 \times 1,13) + 2x(0,012 \times 550 \times 2,30) + (0,02 \times 600 \times 1,34) =$$

$$CT = 50,92 + 10,50 + 13,50 + 1,50 + 1,43 + 30,36 + 16,08$$

$$\mathbf{CT = 151,56 kJ/m^2.K}$$

Na Tabela 2, são apresentados os critérios e resultados encontrados para a

transmitância térmica (U) das paredes externas da fachada sul.

Tabela 2: Requisitos e resultados da transmitância térmica das paredes externas da fachada sul

Transmitância térmica - U (W/ m ² .k)				
Zona	A	Critério	Resultados	
4	> 0,6	≤ 2,5	U = 0,35	Atende

Fonte: Autora, 2022

A Tabela 3 apresenta os critérios e resultados encontrados para a capacidade térmica (C) das paredes externas da fachada sul.

Tabela 3: Requisitos e resultados da capacidade térmica das paredes externas da fachada sul

Capacidade térmica - C (kJ/ m ² .k)			
Zona	Critério	Resultados	
4	≥ 130	C = 151,56	Não atende

Fonte: Autora, 2022

Considerando os resultados apresentados, é possível constatar que as paredes externas da fachada sul atende parcialmente aos requisitos exigidos pela norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

A transmitância térmica demonstrou que os materiais utilizados garantem uma boa condutibilidade térmica e isolamento da parede, associados à madeira. No entanto, por ser considerado um sistema construtivo leve, o *Wood Frame* e sua composição na fachada mencionada, associado às régua de madeira (*sidding de pinus*), deveriam obter um resultado satisfatório com no mínimo de 130 kJ, para a capacidade térmica, porém atingiu o valor de 151,56 kJ, apresentando baixa inércia térmica.

5.1.1.2 Fachadas norte, leste e oeste (paredes externas)

Na norma NBR 15220 – 2 (ABNT, 2005), os dados de condutividade térmica dos materiais das paredes externas das fachadas norte, leste e oeste são:

a – madeira pinus = 0,29 W/ (m.k)

i – lã de rocha = 0,045 W/ (m.k)

g – gesso acartonado (*drywall standard*) = 0,35 W/ (m.k)

h – manta hidrófuga *tyvek* = 0,045 W/ (m.k)

c – câmara de ar = 0,14 W/ (m.k)

p – placa de compensado = 0,15 W/ (m.k)

e – estuque = 0,30 W/ (m.k)

$$RT = e/\lambda = ea/\lambda a + ei/\lambda i + eg/\lambda g + eh/\lambda h + ec/\lambda c + ep/\lambda p + ee/\lambda e$$

$$RT = 0,038/0,29 + 0,09/0,045 + 0,0125/0,35 + 0,02/0,045 + 0,001/0,14 + 2x$$

$$(0,012/0,15) + 0,02/0,30 =$$

$$RT = 0,13 + 2,00 + 0,03 + 0,44 + 0,007 + 2x(0,08) + 0,07$$

$$RT = 2,84 m^2.k/W$$

Para o cálculo de transmitância térmica e capacidade térmica nas fachadas estudadas, foram determinados os valores abaixo:

$$U = 1/RT = 1/2,86$$

$$U = 0,35 m^2.k/W$$

$$CT = (0,038 \times 1000 \times 1,34) + (0,09 \times 200 \times 0,75) + (0,0125 \times 1000 \times 0,84) + (0,02 \times$$

$$100 \times 0,75) + (0,02 \times 1270 \times 1,13) + 2x(0,012 \times 550 \times 2,30) + (0,02 \times 1400 \times 1,50) =$$

$$CT = 50,92 + 13,50 + 10,50 + 1,50 + 1,43 + 30,36 + 42,00 =$$

$$CT = 177,48 kJ/m^2.K$$

Na Tabela 4, são apresentados os critérios e resultados encontrados para a transmitância térmica (U) das paredes externas das fachadas norte, leste e oeste.

Tabela 4: Requisitos e resultados da transmitância térmica das paredes externas das fachadas norte, leste e oeste

Transmitância térmica - U (W/ m ² .k)				
Zona	A	Critério	Resultados	
4	> 0,6	≤ 2,5	U = 0,35	Atende

Fonte: Autora, 2022

Na Tabela 5, são apresentados os critérios e resultados encontrados para a capacidade térmica (C) das paredes externas das fachadas norte, leste e oeste.

Tabela 5: Requisitos e resultados da capacidade térmica das paredes externas das fachadas norte, leste e oeste

Capacidade térmica - C (kJ/ m ² .k)			
Zona	Critério	Resultados	
4	≥ 130	C = 177,48	Atende

Fonte: Autora, 2022.

A partir dos resultados apresentados nas Tabela 5 e 6, é possível constatar que as paredes externas das fachadas norte, leste e oeste atendem aos requisitos exigidos pela norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013), o que demonstra que a associação dos materiais utilizados à madeira avalizam resultados em concordância ou superiores à norma para uma boa condutividade térmica, capacidade térmica e inércia térmica. Comparando a composição das paredes da fachada sul e das fachadas norte, leste e oeste, o que as diferencia seria o estuque utilizado nestas duas últimas fachadas mencionadas, o que torna possível o questionamento de resultados obtidos para as mesmas em comparação aos resultados da fachada anterior.

5.1.2. Cálculos aproximados da transmitância e capacidade térmica do objeto de estudo para as coberturas

Uma envoltória de edificação é composta por vários componentes que dividem externo com o contato das influências climáticas. Além das próprias propriedades dos materiais componentes da edificação, também viabiliza o desempenho térmico de cada componente.

As coberturas são indispensáveis para as edificações e dependendo de suas propriedades térmicas, estas podem gerar condições adversas em relação ao meio externo. Em todo e qualquer projeto de cobertura devem ser considerados três fatores:

- Controlar a sombra e a forma da edificação;
- A radiação que vai atravessar a cobertura e o que incide sobre ela;
- O calor absorvido e espalhado pela cobertura.

Na norma 15220-3 (ABNT, 2005), a cidade de São Carlos está situada na zona bioclimática 4, como mencionado em capítulos anteriores e que vai determinar valores admissíveis para a transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar para o desempenho térmico das coberturas.

A estrutura da cobertura do objeto estudado é composta por telha cerâmica, ripas de 2cm x 5cm, membrana hidrófuga *Tyvek*, compensado tratado de 12mm, treliças de 5cm, lã de rocha de 2,5cm e forro de *drywall* de 12,5mm.

Na Tabela 6, são apresentados os critérios e requisitos exigidos para os níveis de desempenho térmico da zona bioclimática 4.

Tabela 6: Requisitos e critérios da transmitância térmica para coberturas

Transmitância térmica - U (W/ m ² .k)		
Zonas 3 a 6		Nível de Desempenho
$\alpha a \leq 0,6$	$\alpha a > 0,6$	Mínimo (M)
U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	
$\alpha a \leq 0,6$	$\alpha a > 0,6$	Intermediário (I)
U ≤ 1,5	U ≤ 1,0	
$\alpha a \leq 0,6$	$\alpha a > 0,6$	Superior (S)
U ≤ 1,0	U ≤ 0,5	

M é o nível de desempenho mínimo de conforto dos usuários.

I é o nível de desempenho intermediário de conforto dos usuários.

S é o nível de desempenho superior de conforto dos usuários.

Zona bioclimática 4 de acordo com a Parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

Fonte: Autora, 2022

Na norma NBR 15220 – 2 (ABNT, 2005), os dados de condutividade térmica dos materiais da cobertura são:

- T – telha = 0,93 W/ (m.k)
- r – ripa = 0,23 W/ (m.k)
- h – manta hidrófuga *tyvek* = 0,045 W/ (m.k)
- p – placa de compensado = 0,15 W/ (m.k)
- t – treliça = 0,14 W/ (m.k)

- g – gesso acartonado (*drywall standard*) = 0,35 W/ (m.k)
- i – lã de rocha = 0,045 W/ (m.k)

$$RT = e/\lambda = eT/\lambda T + er/\lambda r + eh/\lambda h + ep/\lambda p + et/\lambda t + ei/\lambda i + eg/\lambda g$$

$$RT = 0,15/0,93 + 0,02/0,23 + 0,02/0,045 + 0,012/0,15 + 0,05/0,14 + 0,025/0,045 + 0,0125/0,35 =$$

$$RT = 0,16 + 0,09 + 0,44 + 0,08 + 0,36 + 0,55 + 0,03$$

$$RT = 1,71 \text{ m}^2 \cdot \text{k/W}$$

Para o cálculo de transmitância térmica e fator solar na cobertura estudada, foram determinados os valores abaixo:

$$U = 1/RT = 1/1,71$$

$$U = 0,58 \text{ m}^2 \cdot \text{k/W}$$

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

$$FS_o = 4 \cdot 0,58 \cdot 0,75 (\text{telha})$$

$$FS_o = 1,74\%$$

Para o cálculo de capacidade térmica seguem:

$$CT = (0,15 \times 1600 \times 0,92) + (0,02 \times 550 \times 2,30) + (0,02 \times 100 \times 0,75) + (0,012 \times 550 \times 2,30) + (0,05 \times 450 \times 2,30) + (0,0125 \times 1000 \times 0,84) + (0,025 \times 200 \times 0,75) =$$

$$CT = 220,80 + 25,30 + 1,50 + 15,18 + 51,75 + 10,50 + 3,75$$

$$CT = 328,78 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$$

Para o cálculo do atraso térmico:

$$\emptyset = 0,7284 \cdot \sqrt{Rt} \times Ct$$

$$\emptyset = 0,7284 \cdot \sqrt{1,71 \times 328,78}$$

$$\emptyset = 0,7284 \cdot \sqrt{562,21}$$

$$\emptyset = 0,7284 \cdot 23,71$$

$$\emptyset = 17,27$$

$$\emptyset = 17,27 \text{ h}$$

Na Tabela 7, são apresentados os critérios e resultados encontrados para a

transmitância térmica (U) da cobertura.

Tabela 7: Requisitos e resultados da transmitância térmica da cobertura

Transmitância térmica - U (W/ m ² .k)				
Zonas 3 a 6		Nível de Desempenho	Resultado	
$\alpha a \leq 0,6$	$\alpha a > 0,6$	Mínimo (M)	0,58	Atende
$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$			
$\alpha a \leq 0,6$	$\alpha a > 0,6$	Intermediário (I)	0,58	Atende
$U \leq 1,5$	$U \leq 1,0$			
$\alpha a \leq 0,6$	$\alpha a > 0,6$	Superior (S)	0,58	Não Atende
$U \leq 1,0$	$U \leq 0,5$			

M é o nível de desempenho mínimo de conforto dos usuários.

I é o nível de desempenho intermediário de conforto dos usuários.

S é o nível de desempenho superior de conforto dos usuários.

Zona bioclimática 4 de acordo com a Parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

Fonte: Autora, 2022

Considerando os resultados na Tabela 8, é possível constatar que a cobertura do objeto estudado atendeu parcialmente aos requisitos exigidos pela norma NBR 15575-5 (ABNT, 2013), não atendendo assim ao nível de desempenho Superior (S).

Na Tabela 8 são apresentados os critérios e resultados encontrados para a capacidade térmica (C) da cobertura.

Tabela 8: Requisitos e resultados da capacidade térmica da cobertura

Capacidade térmica - C (kJ/ m ² .k)			
Zona	Critério	Resultados	
4	≥ 130	C = 328,78	Atende

Fonte: Autora, 2022.

Para vedações externas, nas coberturas são apresentados valores mínimos admissíveis para a zona bioclimática 4, de acordo com a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005). A norma indica que o atraso térmico deve ser menor que 3,3 horas e que tenha fator solar menor que 6,5%.

Na Tabela 9 é possível averiguar os resultados obtidos para a cobertura, sendo que, foram atendidos todos os requisitos exigidos, porém não atendeu aos requisitos relacionados ao atraso térmico de acordo com as exigências da norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Mais adiante serão explanados a questão do atraso térmico e suas

condições.

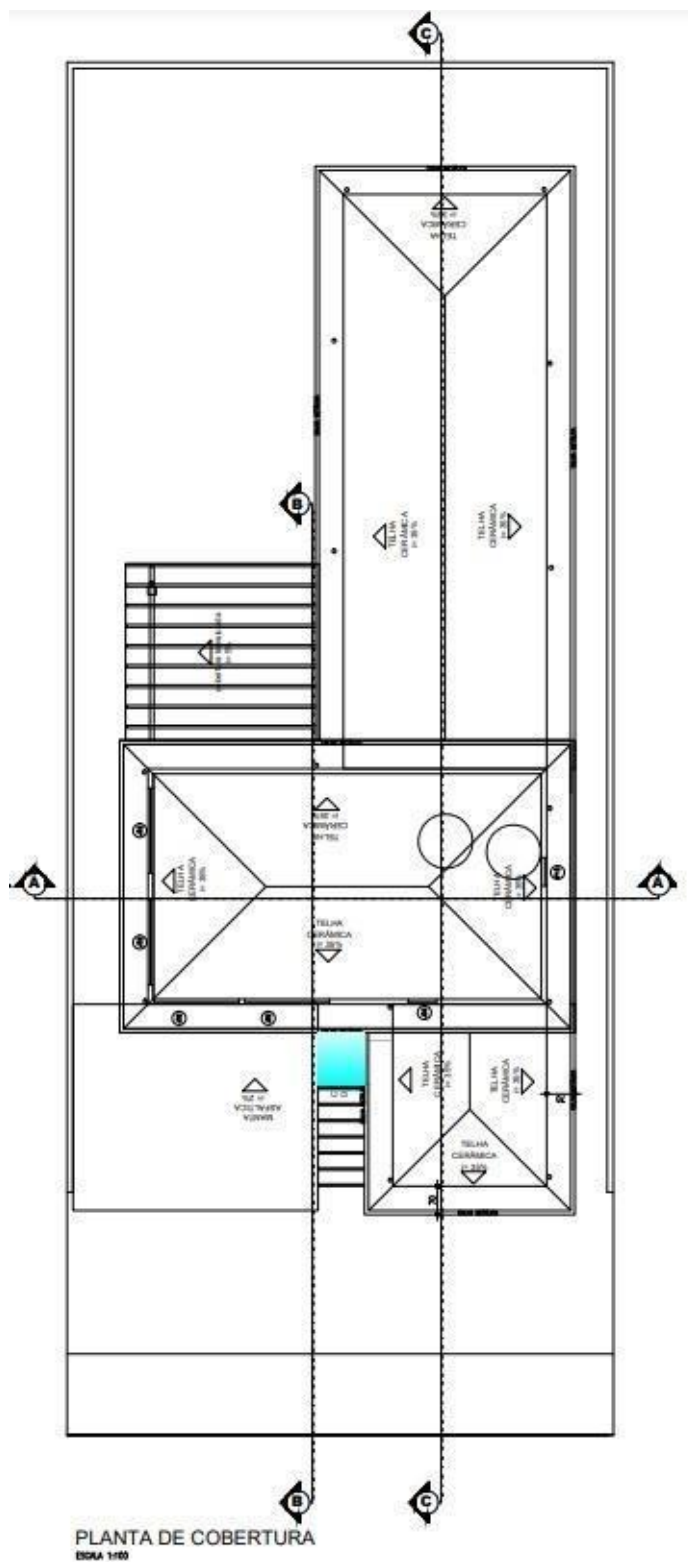
Tabela 9: Requisitos e resultados da capacidade térmica da cobertura

Vedações externas (coberturas)		
Coberturas	Atraso Térmico - Horas	Fator Solar - Fso %
Leve Isolada	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
Leve Refletora	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
Pesada	$\leq 6,5$	$\leq 6,5$
Resultados	17,27 h	1,74%
	Não Atende	Atende

Fonte: Autora, 2022

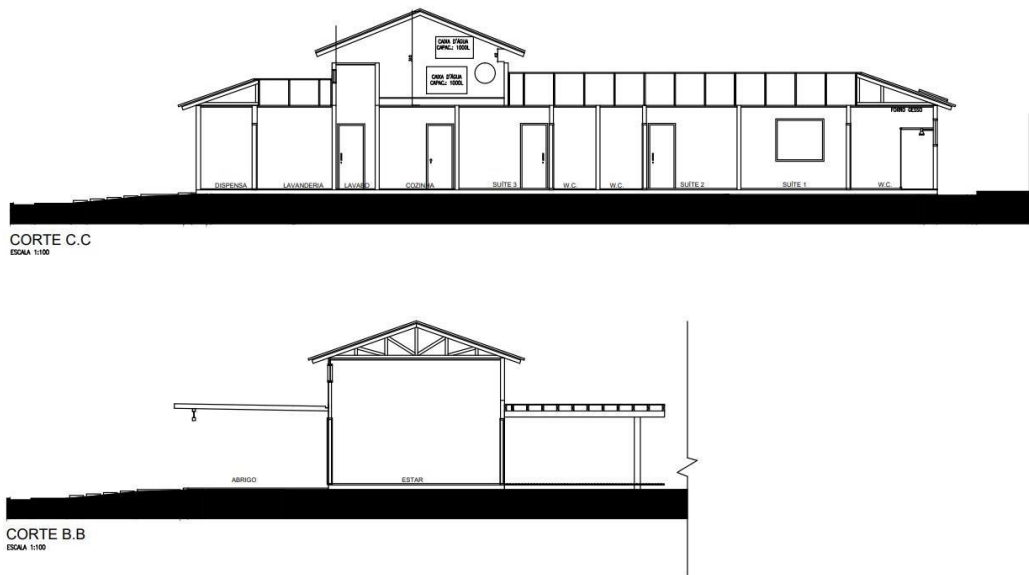
Serão apresentados na Figura 30, 31 e 32, os desenhos da planta e os cortes da cobertura.

Figura 30: Planta da cobertura



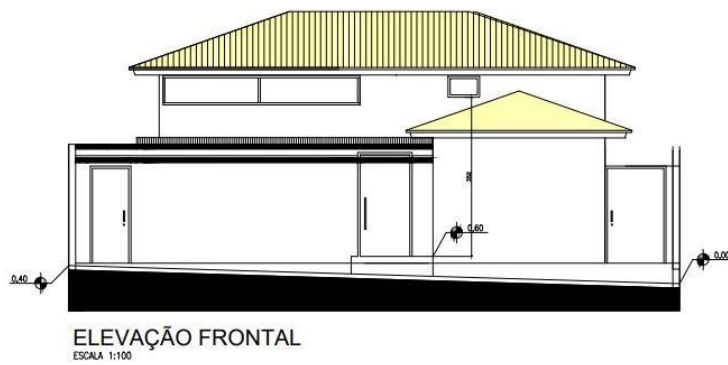
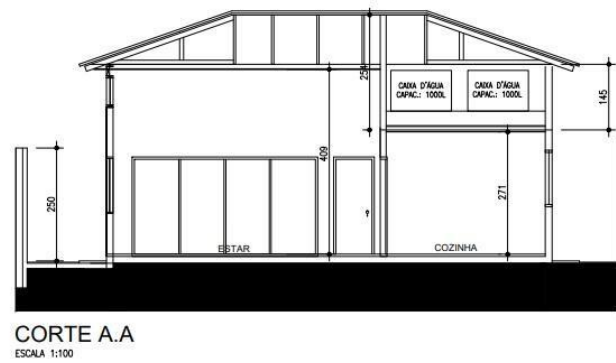
Fonte: Stamato, 2022.

Figura 31: Corte CC e BB da cobertura



Fonte: Stamato, 2022

Figura 32: Corte AA da cobertura



Fonte: Stamato, 2022

5.2 Desempenho térmico

5.2.1 Períodos de coleta de dados

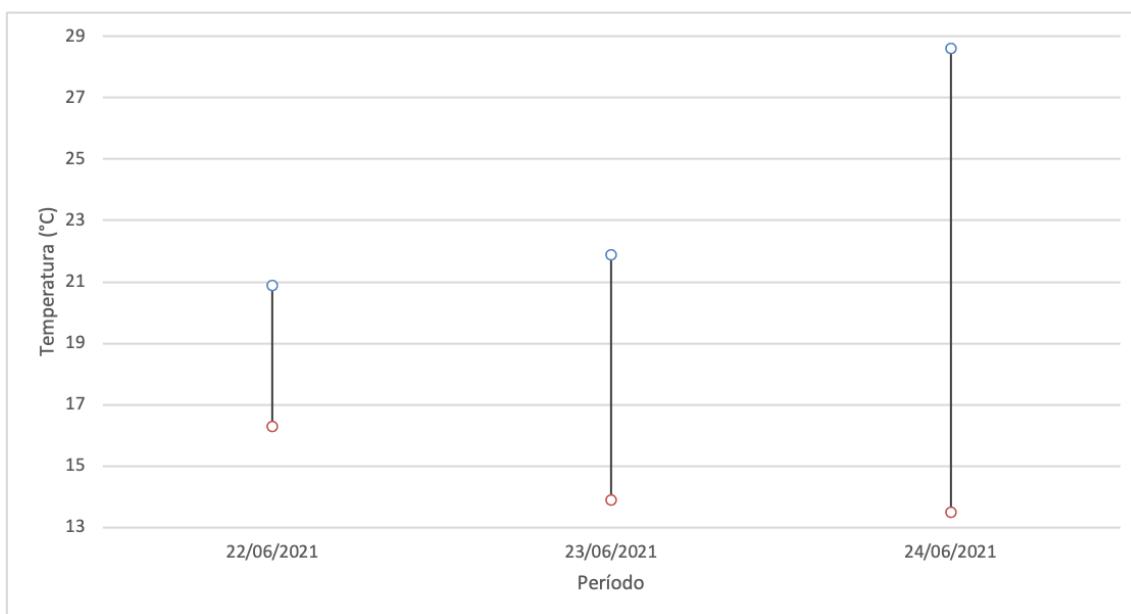
Os dados das temperaturas externa e interna do ar foram obtidos em dois períodos diferentes, próximos aos solstícios das estações de inverno e verão do ano de 2021. Foram escolhidos os 3 dias mais representativos de cada estação, sendo os dias 22, 23 e 24 de junho de 2021 para o inverno e, 18, 19 e 20 de dezembro de 2021 para o verão.

A partir dos dados, foram obtidos os resultados de desempenho térmico dos ambientes de maior ocupação, sendo, a suíte 1, suíte 2, suíte 3 e sala, bem como, os requisitos de desempenho no inverno e no verão.

5.2.1.1 Primeiro período de coleta de dados – 22 a 24 de junho de 2021 (inverno)

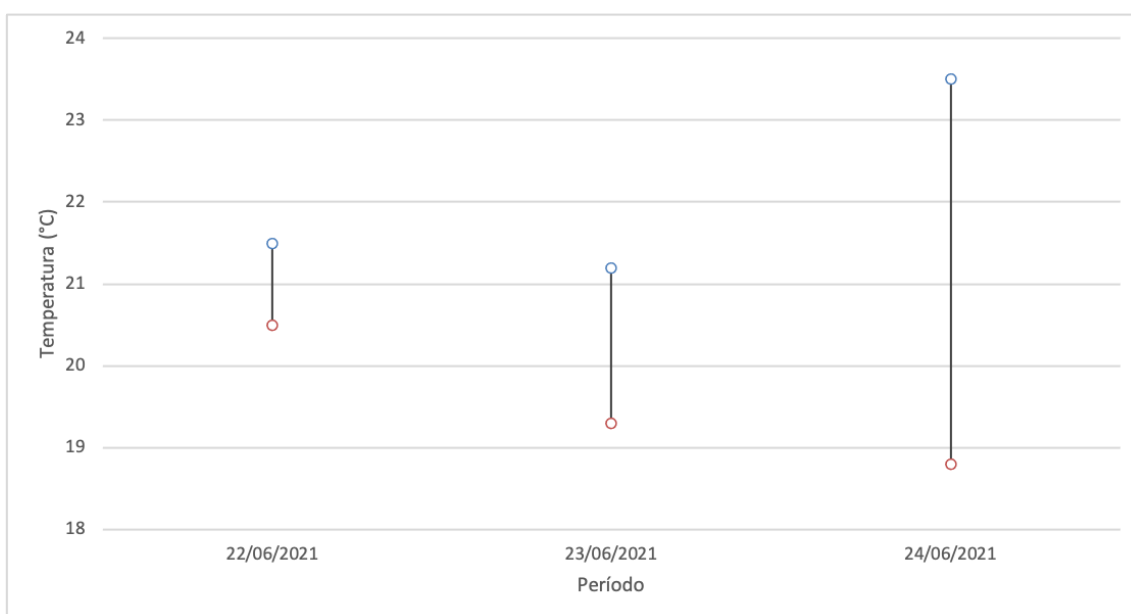
O primeiro período de coleta de dados escolhido foi o mês de junho de 2021, no período de inverno. Através dos dados das temperaturas externa e interna do ar, foi possível obter a amplitude térmica e a diferença entre as temperaturas externas máximas e mínimas em relação às temperaturas máximas e mínimas no interior de cada ambiente analisado.

A Figura 33 apresenta a amplitude do ar aferida na parte externa da habitação de estudo de caso entre os dias 22 e 24 de junho de 2021, que corresponde à coleta de dados no período de inverno.

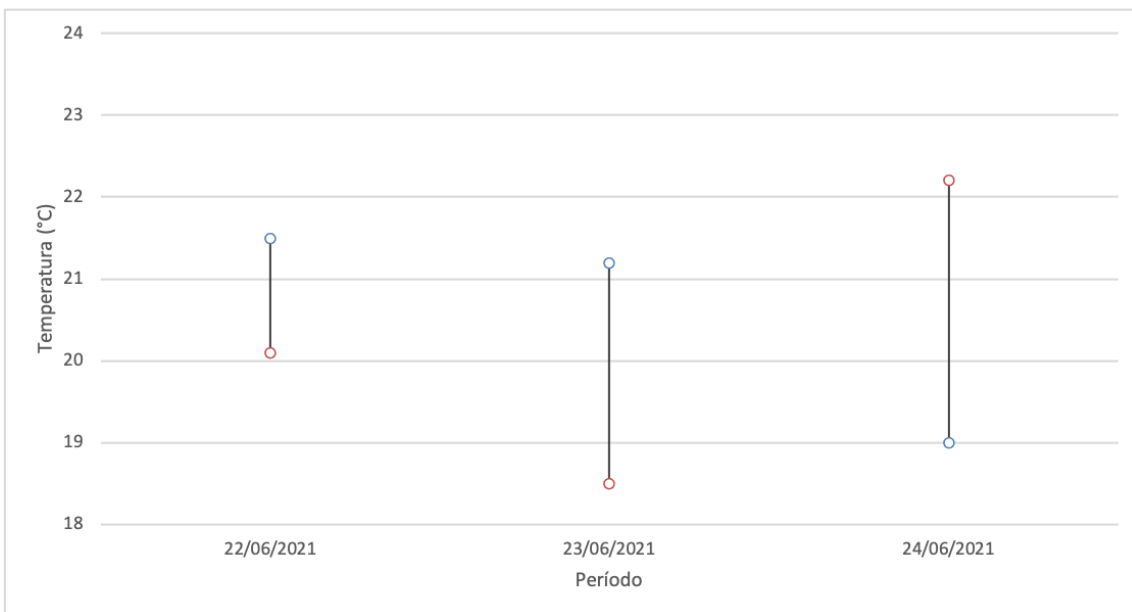
Figura 33: Amplitude térmica da temperatura externa do ar no período de inverno

Fonte: Autora, 2023

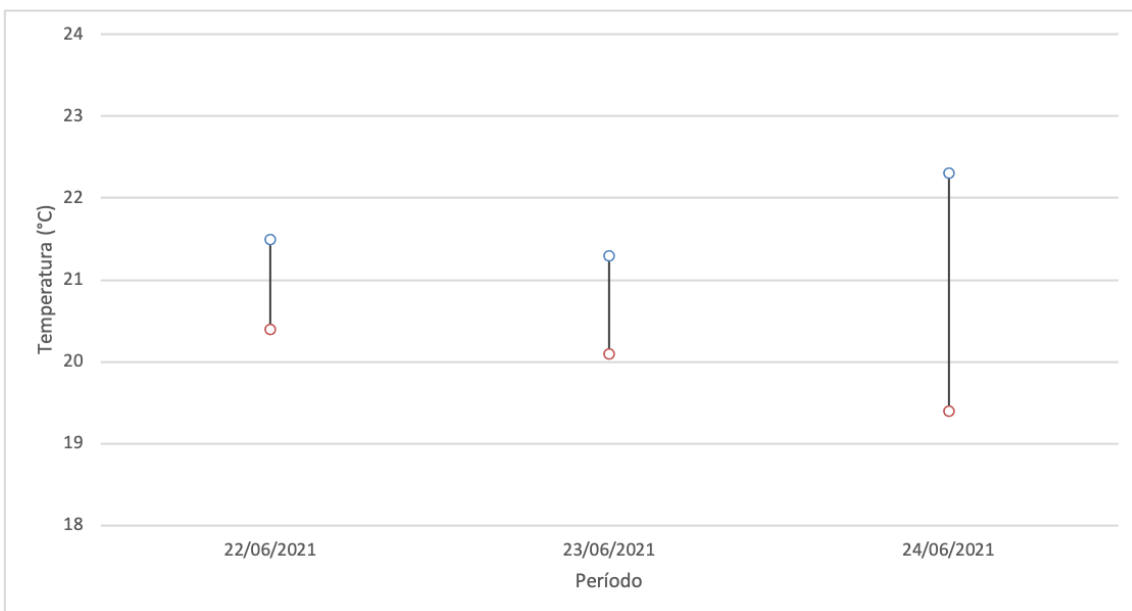
As Figuras 34, 35, 36 e 37 apresentam respectivamente, as amplitudes térmicas das medidas das temperaturas externa e interna na suíte 1, suíte 2, suíte 3 e sala do estudo de caso para o período de inverno de 2021.

Figura 34: Amplitude térmica da temperatura interna do ar da suíte 1 no período de inverno

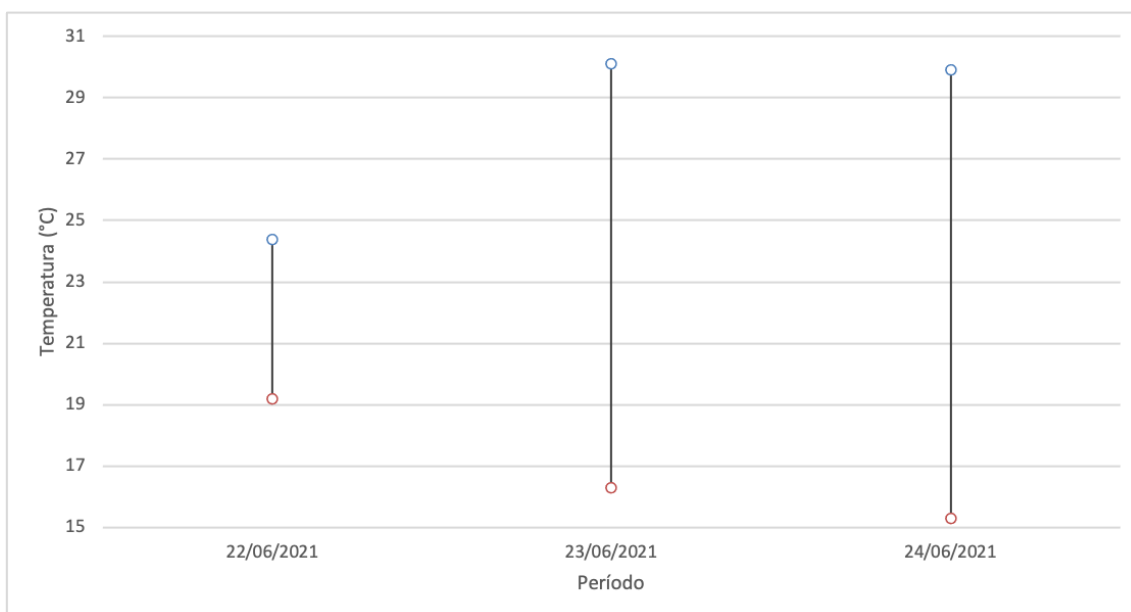
Fonte: Autora, 2023

Figura 35: Amplitude térmica da temperatura interna do ar da suíte 2 no período de inverno

Fonte: Autora, 2023

Figura 36: Amplitude térmica da temperatura interna do ar da suíte 3 no período de inverno

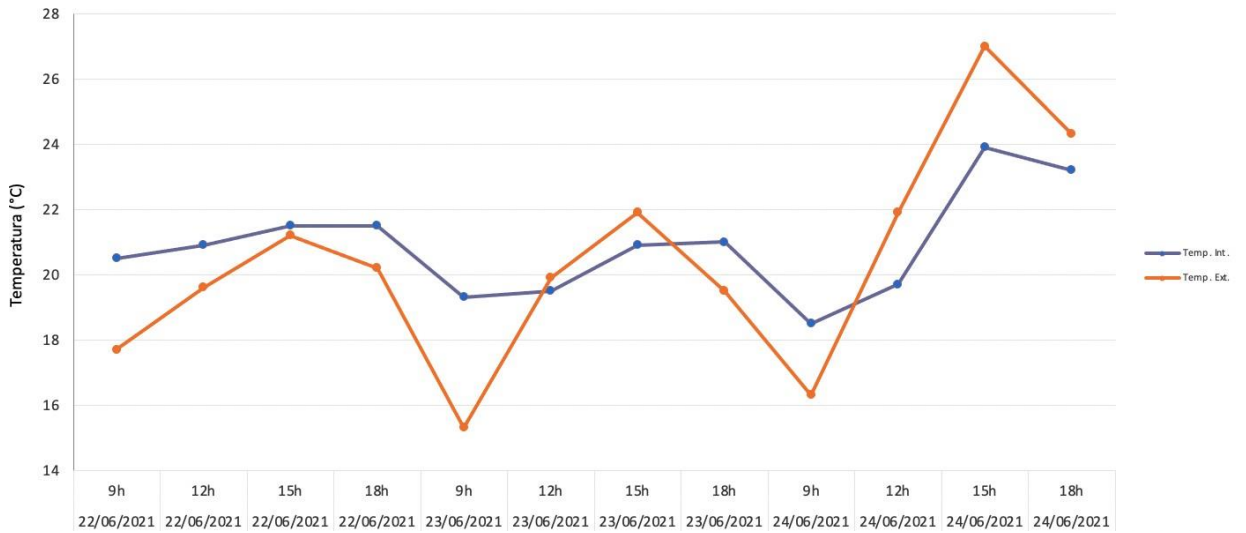
Fonte: Autora, 2023

Figura 37: Amplitude térmica da temperatura interna do ar da sala no período de inverno

Fonte: Autora, 2023

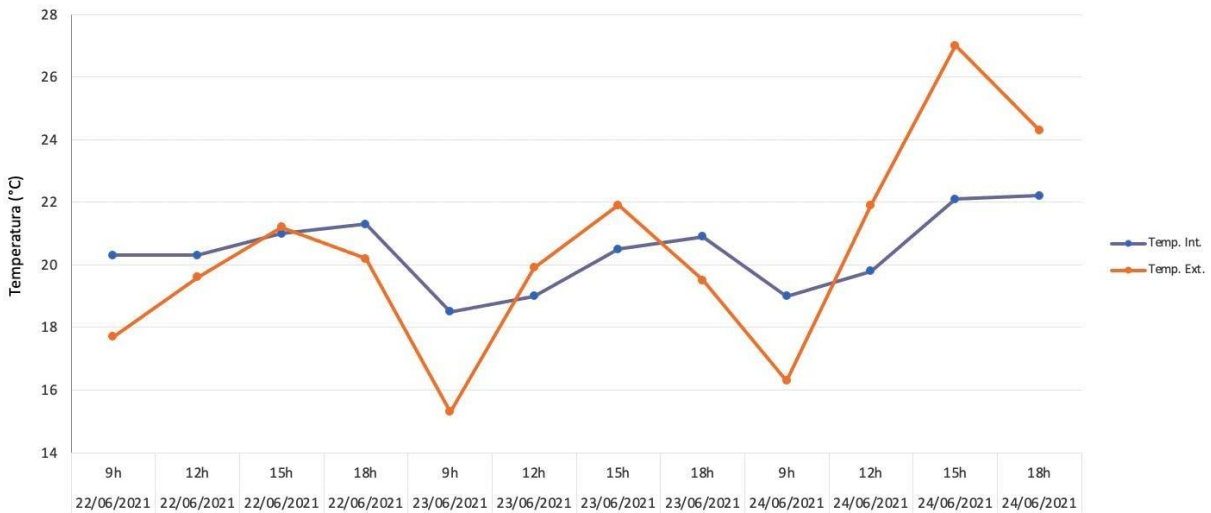
Conforme pode ser observado nas Figura 38, 39 e 40, referentes ao período de inverno, as temperaturas interior do ar das suítes analisadas (suítes 1, 2 e 3) ficaram muito próximas (em torno de 21°C) e com amplitude térmica considerada pequena (média em torno de 3°C), quando comparadas com a temperatura externa do ar no mesmo período.

Figura 38: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 1 no período de inverno

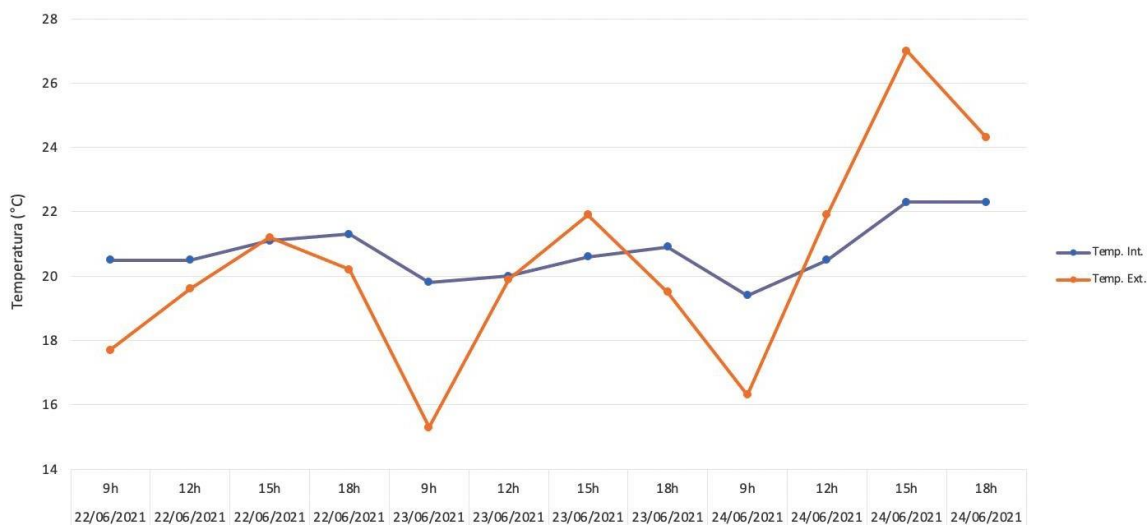


Fonte: Autora, 2023

Figura 39: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 2 no período de inverno

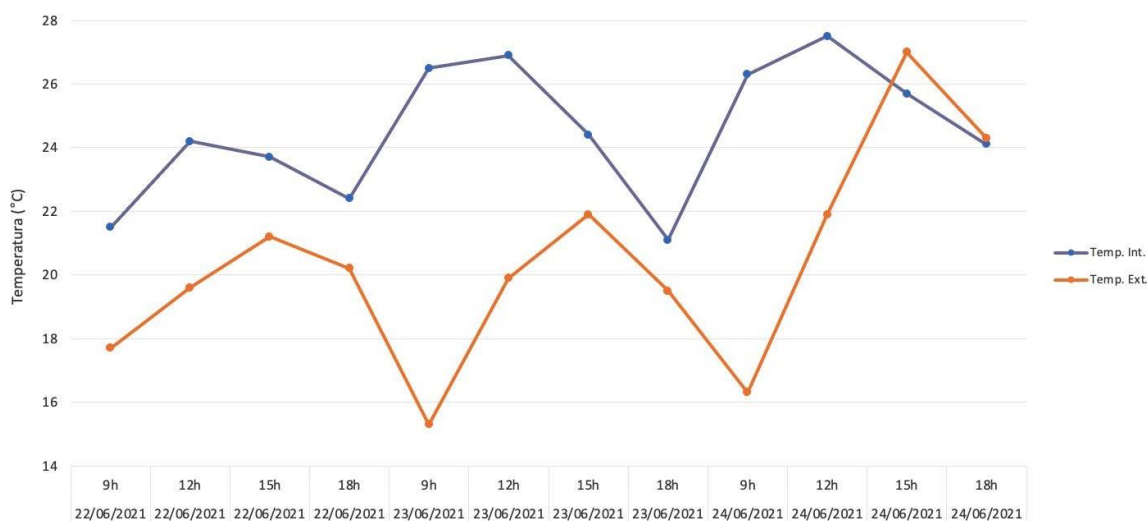


Fonte: Autora, 2023

Figura 40: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 3 no período de inverno

Fonte: Autora, 2023

Conforme pode ser observado na Figura 41, no período analisado, que a temperatura interna do ar na sala é superior que a temperatura externa do ar na maior parte do tempo. Isso acontece pelo fato desse ambiente apresentar grande parte de fachada envidraçada e por isso, receber muita insolação direta no período de 9h a 18h.

Figura 41: Variação das temperaturas externa e interna do ar da sala no período de inverno

Fonte: Autora, 2023

Para o período de inverno, deve-se levar em consideração as seguintes análises:

- O quarto da suíte 1 é composto pelas paredes externas das fachadas sul e norte, e apresentaram capacidade e transmitância térmicas adequadas de acordo com a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013);

- O quarto suíte 2 é composto pela parede externa da fachada norte, apresentando boa capacidade térmica e transmitância térmica adequada aos requisitos para o desempenho térmico, sendo pertinentes quanto às exigências da Norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013);

- O quarto suíte 3 é composto pela parede externa da fachada norte, apresentando boa capacidade térmica e transmitância térmica, adequada aos requisitos para o desempenho térmico, sendo pertinentes quanto às exigências da Norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013). No entanto, não cumpriu à todos os níveis de desempenho da norma NBR 15220-2, para a zona bioclimática 4, onde se encontra o objeto de estudo; e

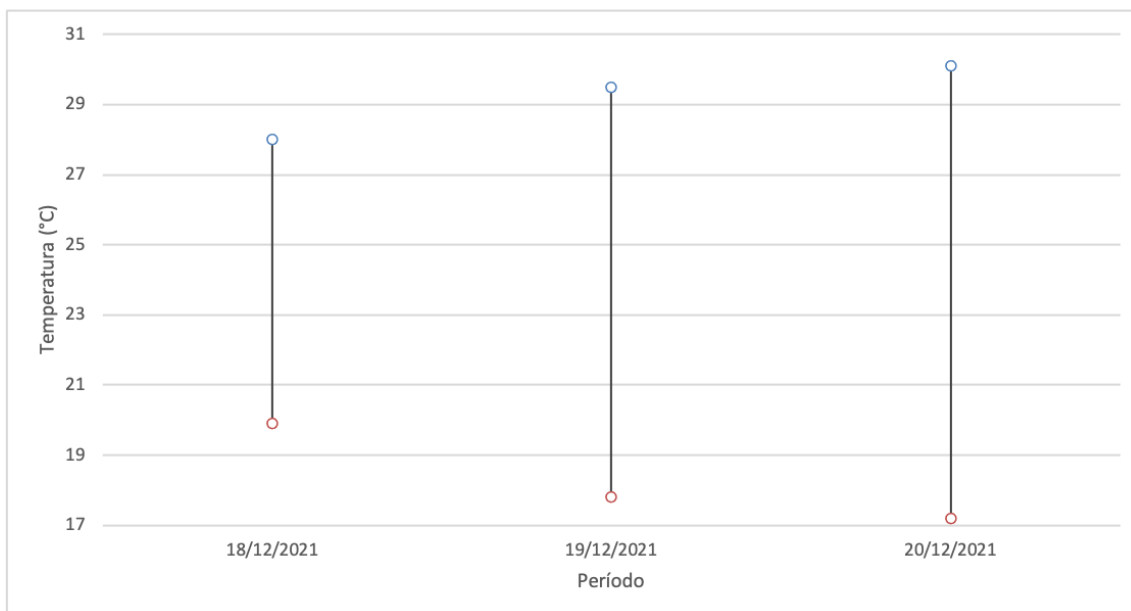
- A sala de estar é composta pela parede externa da fachada leste, apresentando boa capacidade térmica e transmitância térmica adequada aos requisitos para o desempenho térmico, sendo pertinentes quanto às exigências da Norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013). No entanto, não cumpriu de acordo com a norma NBR 15220-2 a nenhum dos níveis de desempenho, para a zona bioclimática 4, onde se encontra o objeto de estudo.

5.2.1.2 Segundo período de coleta de dados – 18 a 20 de dezembro de 2021 (verão)

O segundo período de coleta de dados, para caracterizar o período de verão foi compreendido entre os dias 18 a 20 de dezembro de 2021. Através dos dados de temperatura externa e interna do ar, no período de verão, foi possível verificar a amplitude térmica e a diferença entre as temperaturas externas máximas e mínimas em relação às temperaturas máximas e mínimas no interior da habitação, também nos ambientes suíte 1, suíte 2, suíte 3 e sala.

A Figura 42 apresenta a amplitude térmica medida na parte externa da edificação, em dezembro de 2021 (verão), que caracteriza a segunda coleta de dados da temperatura externa e interna do ar.

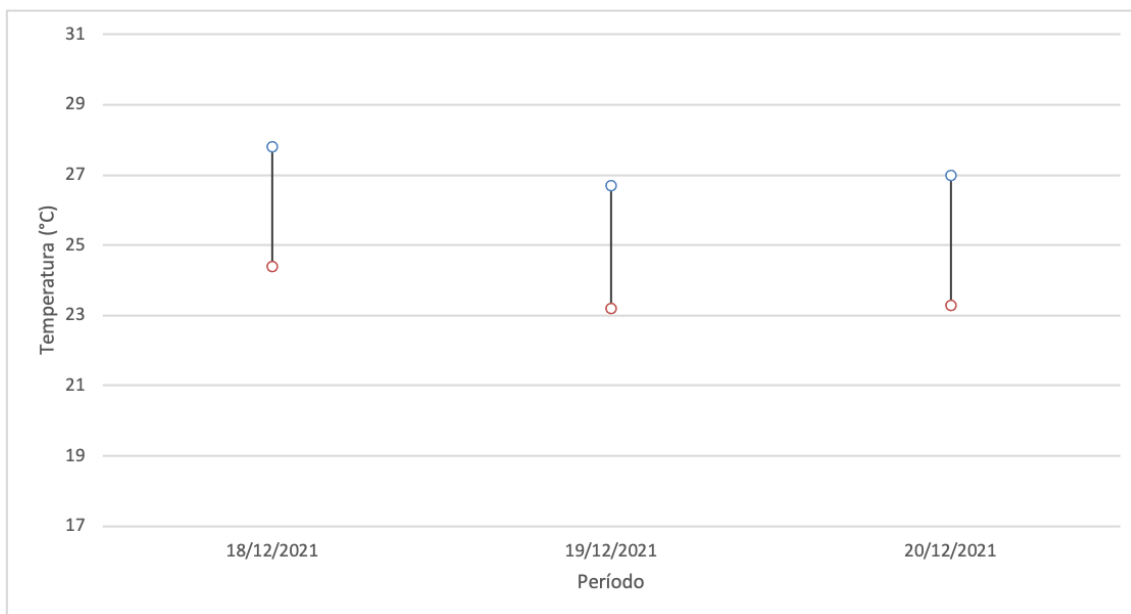
Figura 42: Amplitude térmica da temperatura externa do ar no período de verão



Fonte: Autora, 2023

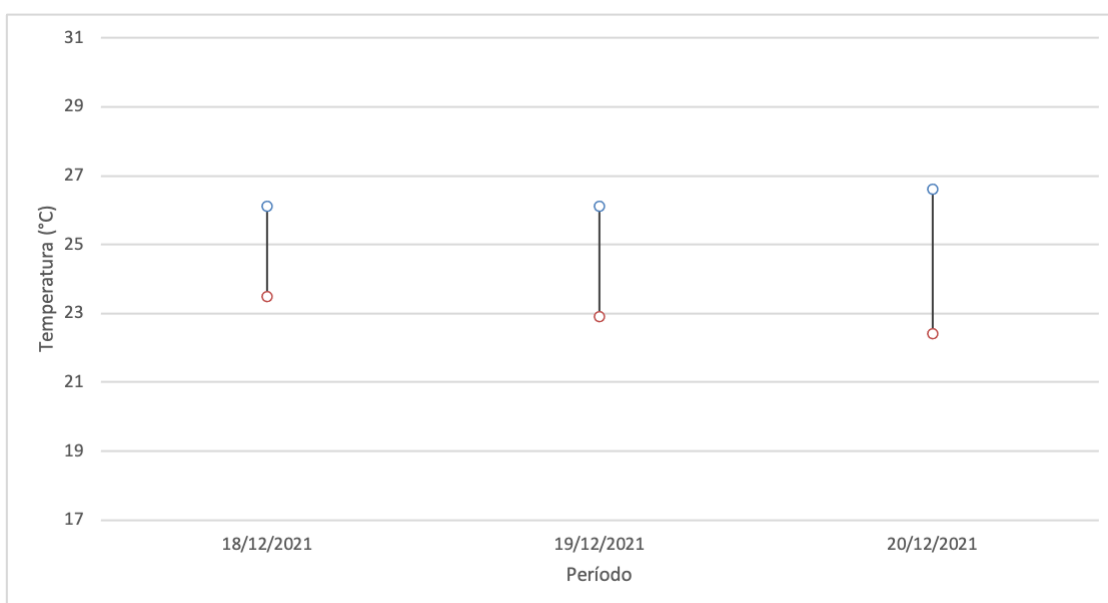
As Figuras 43, 44, 45 e 46 apresentam as amplitudes térmicas da temperatura do ar interna na suíte 1, suíte 2, suíte 3 e sala, no período de dezembro de 2021.

Figura 43: Amplitude térmica da temperatura interna do ar da suíte 1 no período de verão

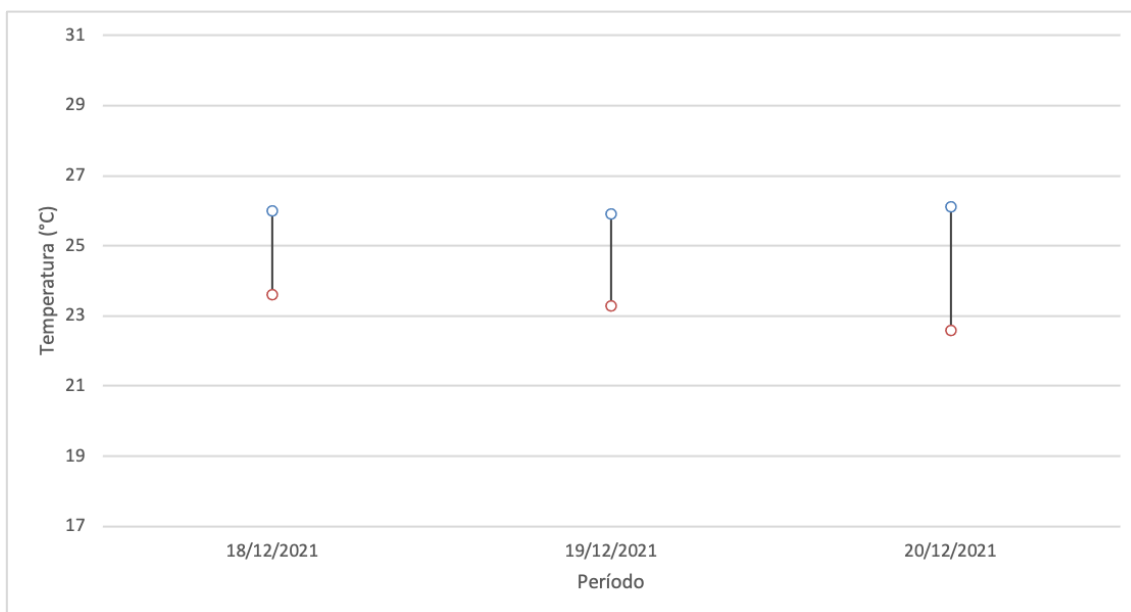


Fonte: Autora, 2023

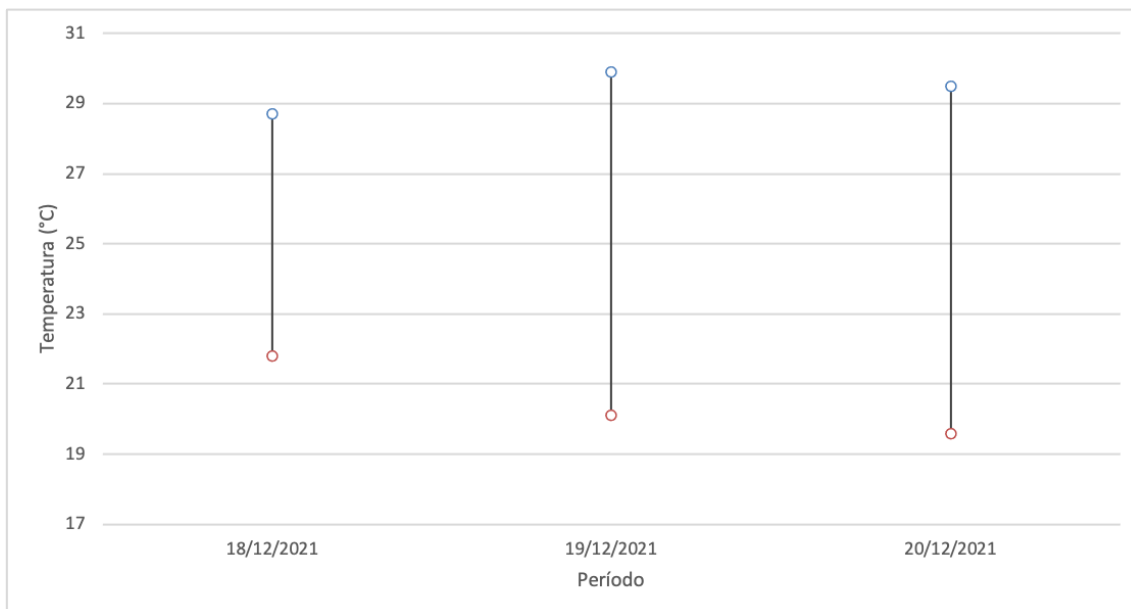
Figura 44: Amplitude térmica da temperatura interna do ar da suíte 2 no período de verão



Fonte: Autora, 2023

Figura 45: Amplitude térmica da temperatura interna do ar da suíte 3 no período de verão

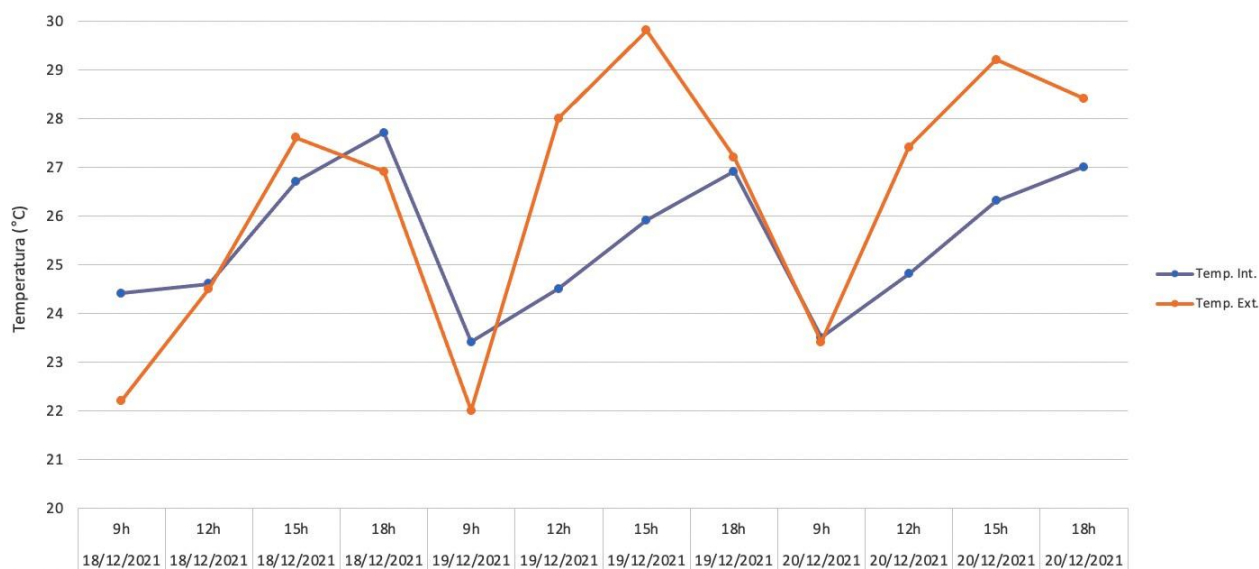
Fonte: Autora, 2023

Figura 46: Amplitude térmica da temperatura interna do ar da sala no período de verão

Fonte: Autora, 2023

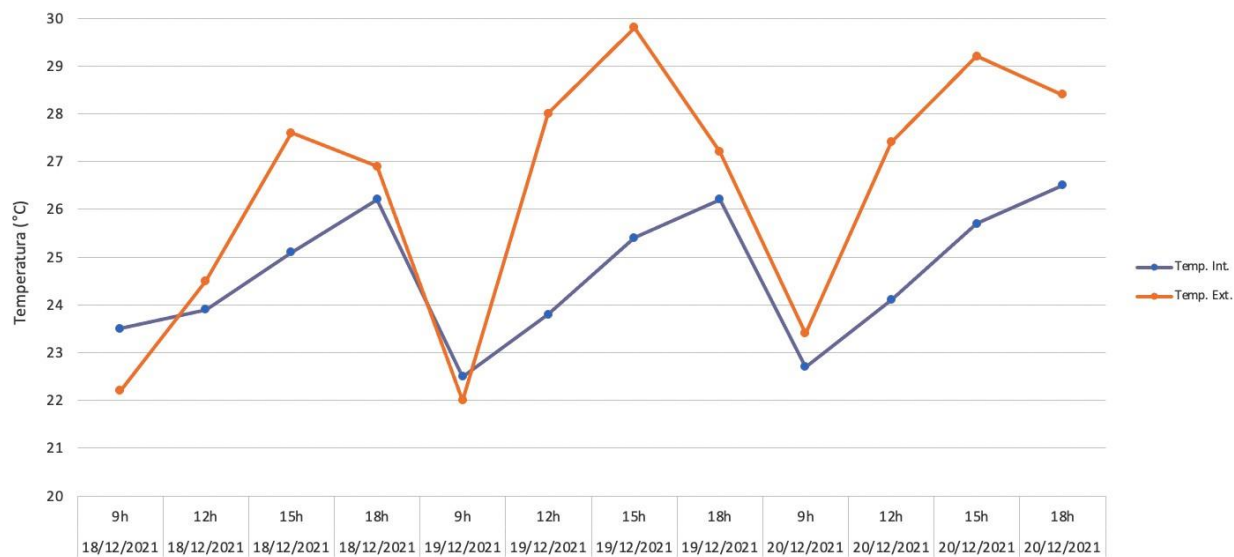
As Figuras 47, 48 e 49, referentes ao período de verão, as temperaturas interior do ar das suítes analisadas (suítes 1, 2 e 3) ficaram muito próximas (em torno de 26°C) e com amplitude térmica considerada pequena (média em torno de 3°C), quando comparadas com a temperatura externa do ar no mesmo período.

Figura 47: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 1 no período de verão

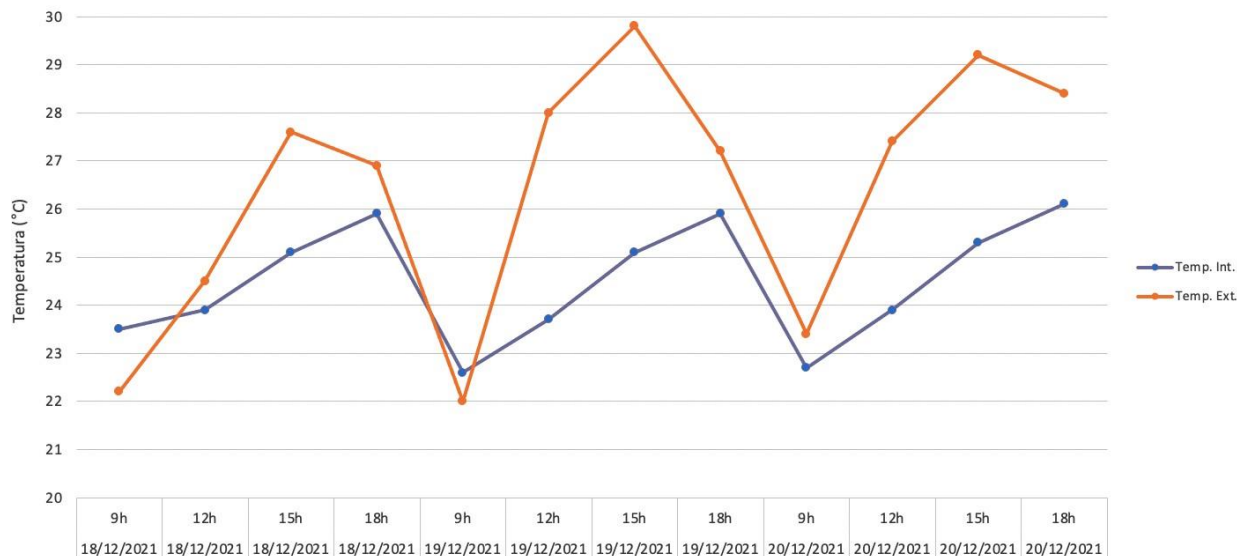


Fonte: Autora, 2023

Figura 48: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 2 no período de verão

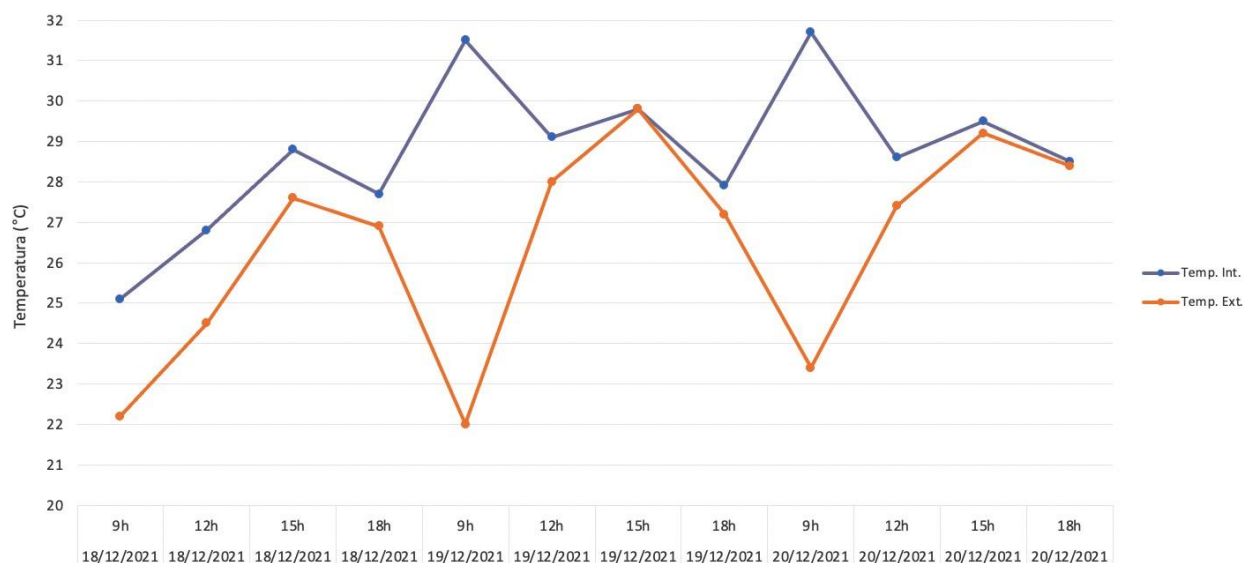


Fonte: Autora, 2023

Figura 49: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 3 no período de verão

Fonte: Autora, 2023

Já a Figura 50 apresenta, da mesma forma como ocorreu para o período de inverno, que a temperatura interna da sala é superior que a temperatura externa do ar na maior parte do tempo. Isso também pode ser explicado pelo fato desse ambiente apresentar grande parte de fachada envidraçada e por isso, receber muita insolação direta no período de 9h a 18h.

Figura 50: Variação das temperaturas externa e interna do ar da sala no período de verão

Fonte: Autora, 2023

Também cabe destacar que, para o período de verão:

- A suíte 1 não apresentou capacidade térmica adequada de acordo com a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013);

- A suíte 2 apresentou boa capacidade térmica e transmitância térmica dentro do esperado ao requisito de nível mínimo e intermediário de desempenho térmico, o nível superior não foi atingido para as exigências das normas NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013);

- A suíte 3, que é composta pela parede externa da Fachada Norte, apresentando boa capacidade térmica e transmitância térmica, adequada aos requisitos para o desempenho térmico, sendo pertinentes quanto às exigências da Norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013). No entanto, não cumpriu à todos os níveis de desempenho da norma NBR 15220-2, para a zona bioclimática 4, onde se encontra o objeto de estudo; e

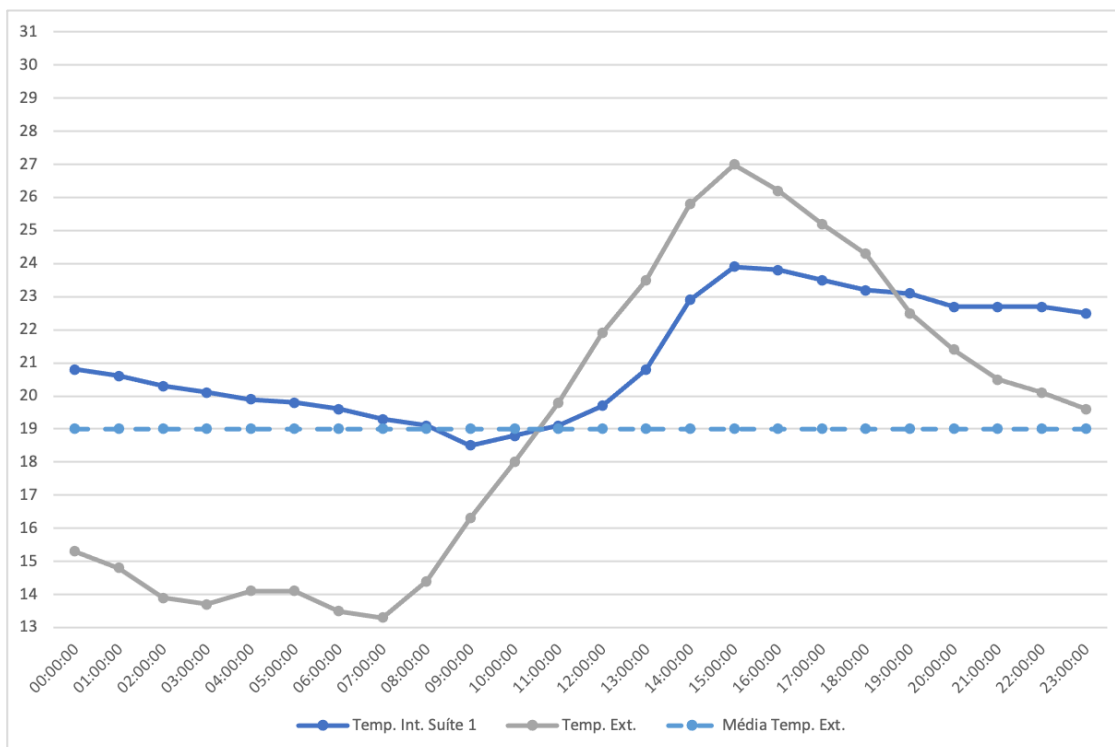
- A sala apresentou boa capacidade térmica e transmitância térmica adequada aos requisitos para o desempenho térmico, sendo pertinentes quanto às exigências da Norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575- 1 (ABNT, 2013).

5.2.1.3 Desempenho no inverno

Através da análise dos dados de temperatura externa do ar dos 3 períodos de medição, foi possível obter os dados de temperatura externa do ar correspondentes ao dia típico de inverno, que apresenta a menor temperatura externa do ar obtida nas medições deste trabalho. Estes dados correspondem ao dia 24/06/2021, com temperatura mínima externa do ar de 13,3 °C. Para uma melhor visualização das diferenças entre as temperaturas externas e internas do ar foram feitos gráficos para cada um dos dormitórios avaliados.

A Figura 51 mostra a diferença entre a temperatura externa do ar e a temperatura interna do ar na suíte 1 para o dia típico de verão encontrado.

Figura 51: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 1 – dia típico de inverno



Fonte: Autora, 2023

Os resultados obtidos para a suíte 1 e os requisitos de desempenho no inverno estabelecidos na Parte 1 da norma NBR 15575 (ABNT, 2013) seguem no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2: Critério e desempenho térmico para condições de inverno – suíte 1

Nível de desempenho	Zona bioclimática 4	Ti, mín. (°C)	Te, mín. (°C)	Resultados	
Mínimo (M)	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3^{\circ} C)$	18,8	13,8	$18,8 > 16,8$	Atende
Intermediário (I)	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 5^{\circ} C)$	18,8	13,8	$18,8 = 18,8$	Atende
Superior (S)	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 7^{\circ} C)$	18,8	13,8	$18,8 < 20,8$	Não atende

M é o nível de desempenho mínimo de conforto dos usuários.

I é o nível de desempenho intermediário de conforto dos usuários.

S é o nível de desempenho superior de conforto dos usuários.

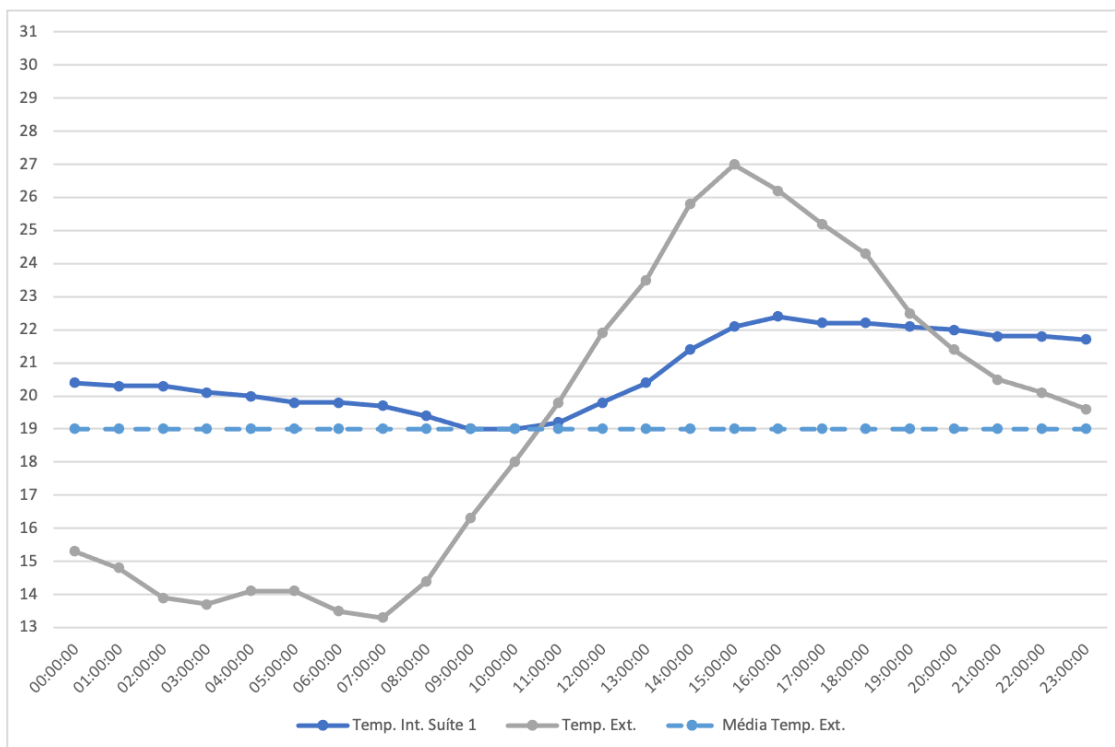
Zona bioclimática 4 de acordo com a Parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

Fonte: Autora, 2023

Pode-se averiguar os resultados obtidos para o quarto suíte 1, sendo possível observar que a medição realizada nesse cômodo atende à aos requisitos mínimo e intermediário e não atende ao requisito superior.

Foram constatados resultados que cumpriram de maneira satisfatória os requisitos segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), do quarto suíte 1, para as avaliações de desempenho térmico das medições de temperaturas máximas e mínimas do ar em ambientes de longa permanência, no período analisado de junho de 2021 (inverno), para a habitação estudada.

Conforme a Figura 52, pode-se constatar que a temperatura interna na maior parte do tempo se manteve superior à temperatura externa durante todo o período.

Figura 52: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 2 – dia típico de inverno

Fonte: Autora, 2023

No Quadro 3, pode-se averiguar os resultados obtidos para o quarto suíte 2, sendo possível observar que a medição realizada nesse cômodo atende à todos os requisitos mínimo intermediário e não atende ao superior.

Quadro 3: Critério e desempenho térmico para condições de inverno – suíte 2

Nível de desempenho	Zona bioclimática 4	Ti, mín. (°C)	Te, mín. (°C)	Resultados	
Mínimo (M)	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3^{\circ} C)$	18,5	13,5	$18,5 > 16,5$	Atende
Intermediário (I)	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 5^{\circ} C)$	18,5	13,5	$18,5 < 18,5$	Atende
Superior (S)	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 7^{\circ} C)$	18,5	13,5	$18,5 < 20,5$	Não atende

M é o nível de desempenho mínimo de conforto dos usuários.

I é o nível de desempenho intermediário de conforto dos usuários.

S é o nível de desempenho superior de conforto dos usuários.

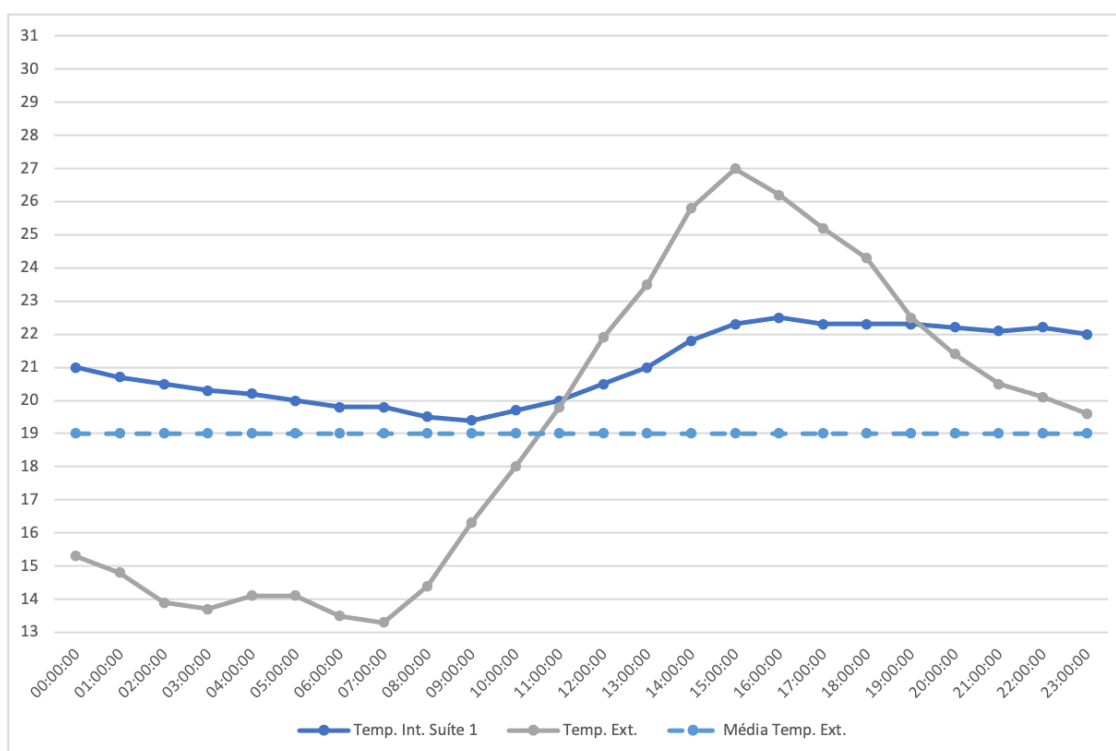
Zona bioclimática 4 de acordo com a Parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

Fonte: Autora, 2023

Foram constatados resultados que cumpriram de maneira satisfatória os requisitos segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), do quarto suíte 2, para as avaliações de desempenho térmico das medições de temperaturas máximas e mínimas do ar em ambientes de longa permanência, no período analisado de Junho de 2021 (inverno) para a habitação estudada.

Conforme a Figura 53, é possível constatar que a temperatura interna em seu maior período se manteve superior à temperatura externa durante todo o período.

Figura 53: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 3 – dia típico de inverno



Fonte: Autora, 2023

No Quadro 4, é possível averiguar os resultados obtidos para o quarto suíte 3, sendo possível observar que a medição realizada nesse cômodo atendeu aos requisitos mínimo e intermediário, não atendendo ao requisito superior, de acordo com as exigências da norma NBR 15575-2 (ABNT, 2013).

Quadro 4: Critério e desempenho térmico para condições de inverno – suíte 3

Nível de desempenho	Zona bioclimática 4	Ti, mín. (°C)	Te, mín. (°C)	Resultados	
Mínimo (M)	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3^{\circ} C)$	19,4	13,5	19,4 > 16,5	Atende
Intermediário (I)	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 5^{\circ} C)$	19,4	13,5	19,4 > 18,5	Atende
Superior (S)	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 7^{\circ} C)$	19,4	13,5	19,4 < 20,5	Não Atende

Ti,máx. é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.

Te,máx. é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

M é o nível de desempenho mínimo de conforto dos usuários.

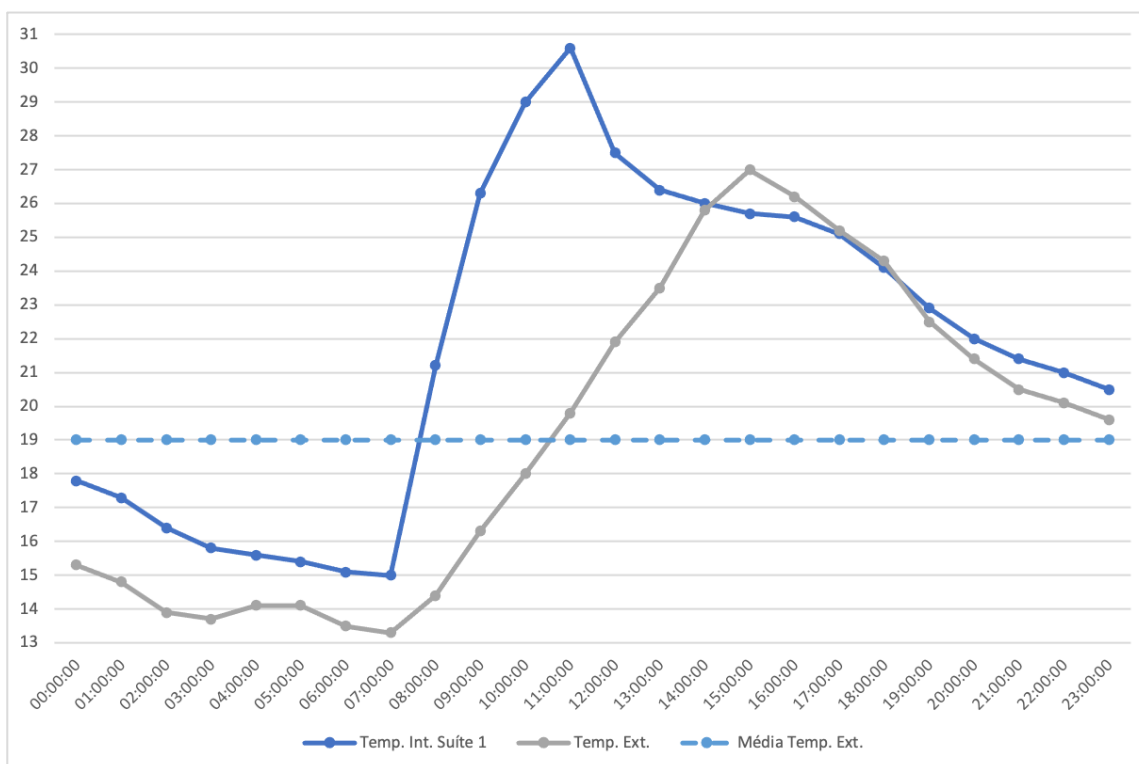
I é o nível de desempenho intermediário de conforto dos usuários.

S é o nível de desempenho superior de conforto dos usuários.

Zona bioclimática 4 de acordo com a Parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

Fonte: Autora, 2023

Conforme a Figura 54, pode-se constatar que a temperatura interna em seu maior período se manteve superior à temperatura externa durante todo o período.

Figura 54: Variação das temperaturas externa e interna do ar da sala – dia típico de inverno

Fonte: Autora, 2023

No Quadro 5, é possível averiguar os resultados obtidos para a sala de estar, sendo possível observar que a medição realizada nesse cômodo não atendeu aos requisitos mínimo, intermediário e superior.

Quadro 5: Critério e desempenho térmico para condições de inverno - sala

Nível de desempenho	Zona bioclimática 4	Ti, mín. (°C)	Te, mín. (°C)	Resultados	
Mínimo (M)	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3^{\circ} C)$	15,3	13,5	$15,3 < 16,5$	Não Atende
Intermediário (I)	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 5^{\circ} C)$	15,3	13,5	$15,3 < 18,5$	Não Atende
Superior (S)	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 7^{\circ} C)$	15,3	13,5	$15,3 < 20,5$	Não Atende

Ti,máx. é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.

Te,máx. é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior á edificação, em graus Celsius.

M é o nível de desempenho mínimo de conforto dos usuários.

I é o nível de desempenho intermediário de conforto dos usuários.

S é o nível de desempenho superior de conforto dos usuários.

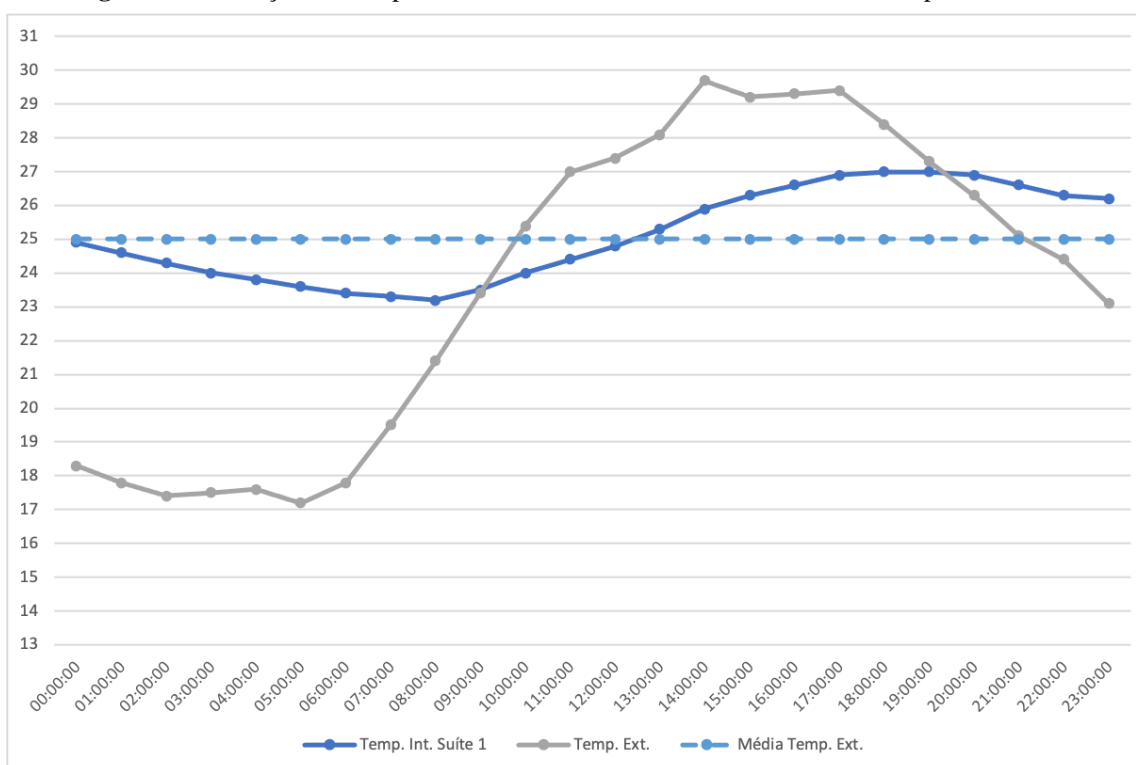
Zona bioclimática 4 de acordo com a Parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

Fonte: Autora, 2023

Conforme a Figura 54, pode-se constatar que a temperatura interna em seu maior período se manteve superior à temperatura externa durante todo o período.

5.2.1.4 Desempenho no verão

Figura 55: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 1 – dia típico de verão



Fonte: Autora, 2023

No Quadro 6, pode-se averiguar os resultados obtidos para o quarto suíte 1, sendo possível observar que a medição realizada nesse cômodo atendeu apenas ao requisito mínimo, não atendendo aos requisitos intermediário e superior, conforme requisitos exigidos pela norma NBR 15575-2 (ABNT, 2013).

Quadro 6: Critério e desempenho térmico para condições de verão – suíte 1

Nível de desempenho	Zona bioclimática 4	Ti, máx. (°C)	Te, máx. (°C)	Resultados	
Mínimo (M)	Ti,máx. ≤ Te,máx.	27,8	29,5	27,8 < 29,5	Atende
Intermediário (I)	Ti,máx. ≤ (Te,máx. - 2° C)	27,8	29,5	27,8 > 27,5	Não Atende
Superior (S)	Ti,máx. ≤ (Te,máx. - 4° C)	27,8	29,5	27,8 > 25,5	Não Atende

Ti,máx. é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.

Te,máx. é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior a edificação, em graus Celsius.

M é o nível de desempenho mínimo de conforto dos usuários.

I é o nível de desempenho intermediário de conforto dos usuários.

S é o nível de desempenho superior de conforto dos usuários.

Zona bioclimática 4 de acordo com a Parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

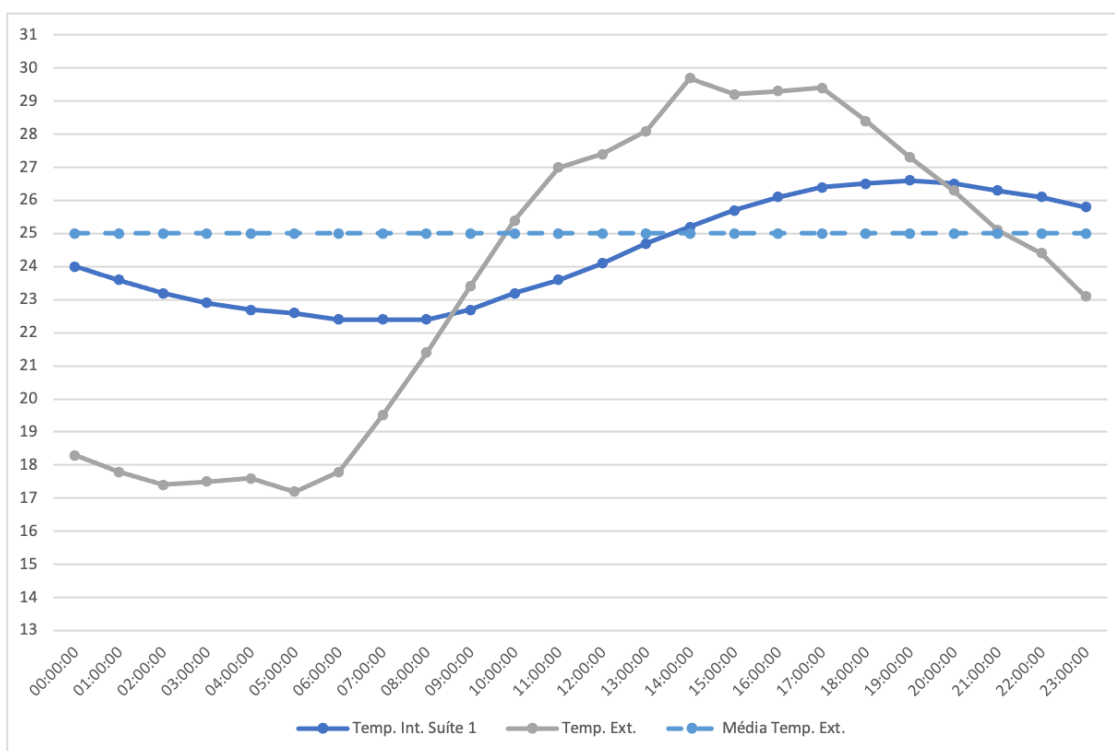
Fonte: Autora, 2023

Conforme a Figura 55, constata-se que a temperatura interna em seu maior período se manteve superior à temperatura externa durante todo o período. As maiores temperaturas sempre ocorreram em horários de maior insolação e as menores durante a madrugada.

De acordo com os itens 5.2.1.1 e 5.2.1.2, o Quarto da Suíte 1 não apresentou capacidade térmica adequada de acordo com a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

A transmitância térmica, apresentou resultado satisfatório para a fachada sul. Para as fachadas oeste e norte, os requisitos para o desempenho térmico mostraram-se pertinentes quanto às exigências da norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

Figura 56: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 2 – dia típico de verão



Fonte: Autora, 2023

No Quadro 7, pode-se averiguar os resultados obtidos para o quarto suíte 2, sendo possível observar que a medição realizada nesse cômodo atendeu aos requisitos mínimo e intermediário, não atendendo ao requisito superior, de acordo com as

exigências da norma NBR 15575-2 (ABNT, 2013).

Quadro 7: Critério e desempenho térmico para condições de verão – suíte 2

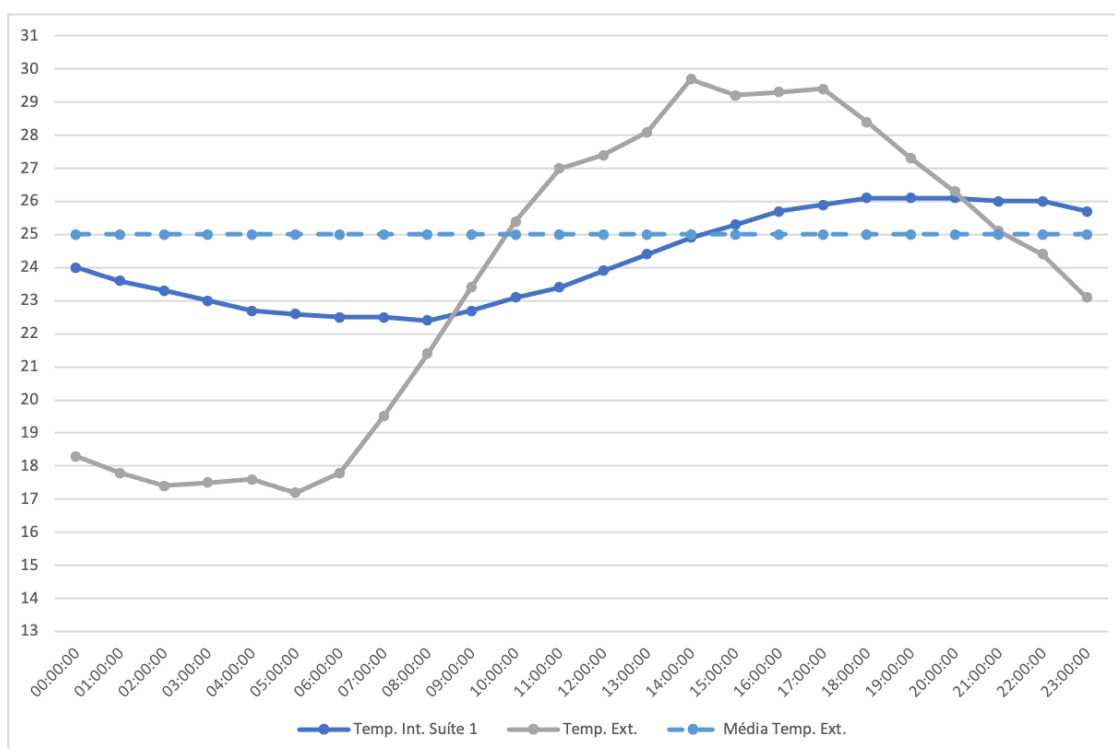
Nível de desempenho	Zona bioclimática 4	Ti, máx. (°C)	Te, máx. (°C)	Resultados	
Mínimo (M)	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	26,6	29,5	$26,6 < 29,5$	Atende
Intermediário (I)	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^\circ \text{C})$	26,6	29,5	$26,6 < 27,5$	Atende
Superior (S)	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4^\circ \text{C})$	26,6	29,5	$26,6 > 25,5$	Não Atende

Fonte: Autora, 2023

Conforme a Figura 56 pode-se constatar que a temperatura interna no período noturno se manteve superior à temperatura externa durante todo o período.

O quarto suíte 2, conforme mencionado no item 5.2.1.2, apresentou boa capacidade térmica e transmitância térmica dentro do esperado ao requisito de nível mínimo e intermediário de desempenho térmico, o nível superior não foi atingido para as exigências das normas NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

Figura 57: Variação das temperaturas externa e interna do ar da suíte 3 – dia típico de verão



No Quadro 8, pode-se averiguar os resultados obtidos para o quarto da suíte 3, sendo possível observar que a medição realizada nesse cômodo atendeu aos requisitos mínimo e intermediário e não atendendo ao requisito superior, conforme exigido pela norma NBR 15575-2 (ABNT, 2013).

Quadro 8: Critério e desempenho térmico para condições de verão – suíte 3

Nível de desempenho	Zona bioclimática 4	Ti, máx. (°C)	Te, máx. (°C)	Resultados	
Mínimo (M)	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	26,1	29,5	$26,1 < 29,5$	Atende
Intermediário (I)	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^\circ \text{C})$	26,1	29,5	$26,1 < 27,5$	Atende
Superior (S)	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4^\circ \text{C})$	26,1	29,5	$26,1 > 25,5$	Não Atende

Ti,máx. é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.

Te,máx. é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior a edificação, em graus Celsius.

M é o nível de desempenho mínimo de conforto dos usuários.

I é o nível de desempenho intermediário de conforto dos usuários.

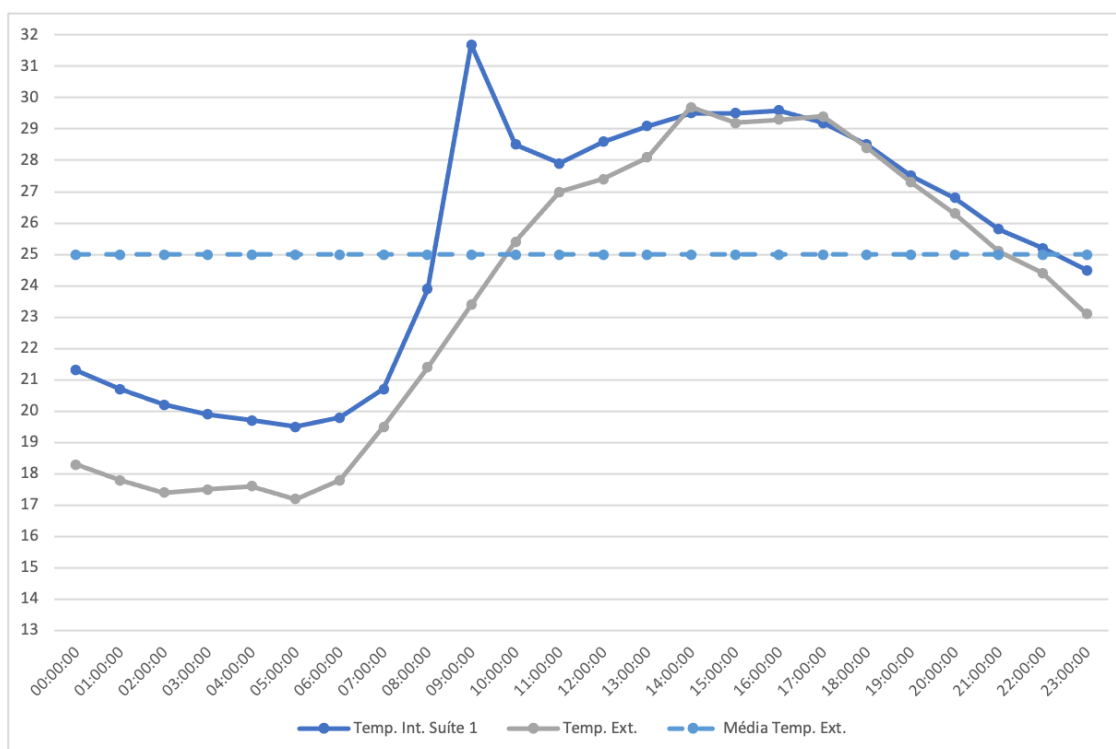
S é o nível de desempenho superior de conforto dos usuários.

Zona bioclimática 4 de acordo com a Parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

Fonte: Autora, 2023

Conforme a Figura 57 pode-se constatar que a temperatura interna em seu maior período se manteve superior à temperatura em seu maior período.

De acordo com o item 5.2.1.2, o quarto suíte 3 é composto pela parede externa da Fachada Norte, apresentando boa capacidade térmica e transmitância térmica, adequada aos requisitos para o desempenho térmico, sendo pertinentes quanto às exigências da Norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013). No entanto como dito anteriormente, não cumpriu à todos os níveis de desempenho da norma NBR 15220-2, para a zona bioclimática 4, onde se encontra o objeto de estudo.

Figura 58: Variação das temperaturas externa e interna do ar da sala – dia típico de verão

Fonte: Autora, 2023

No Quadro 9, é possível averiguar os resultados obtidos para a sala de estar, sendo possível observar que a medição realizada nesse cômodo não atendeu a nenhum dos requisitos, de acordo com as exigências da norma NBR 15575-2 (ABNT, 2013).

Quadro 9: Critério e desempenho térmico para condições de verão – sala

Nível de desempenho	Zona bioclimática 4	Ti, máx. (°C)	Te, máx. (°C)	Resultados	
Mínimo (M)	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	29,9	29,5	$29,9 > 29,5$	Não Atende
Intermediário (I)	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^\circ \text{C})$	29,9	29,5	$29,9 > 27,5$	Não Atende
Superior (S)	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4^\circ \text{C})$	29,9	29,5	$29,9 > 25,5$	Não Atende

Ti,máx. é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.

Te,máx. é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior a edificação, em graus Celsius.

M é o nível de desempenho mínimo de conforto dos usuários.

I é o nível de desempenho intermediário de conforto dos usuários.

S é o nível de desempenho superior de conforto dos usuários.

Zona bioclimática 4 de acordo com a Parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

Fonte: Autora, 2023

Conforme a Figura 58, é possível constatar que a temperatura interna em seu maior período se manteve superior à temperatura externa durante todo o período, havendo ganho de calor.

De acordo com o item 5.2.1.2, a sala de estar apresentou boa capacidade térmica e transmitância térmica adequada aos requisitos para o desempenho térmico, sendo pertinentes quanto às exigências da Norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575- 1 (ABNT, 2013).

5.2.1.5 Aberturas para ventilação

O requisito de aberturas para ventilação estabelece que a habitação deva apresentar aberturas, nas fachadas, com dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna nos ambientes, e este requisito deve ser aplicado somente aos ambientes de longa permanência (salas e dormitórios). Os ambientes de permanência prolongada devem ter aberturas para ventilação com áreas que atendam à legislação específica do local da obra .

Quando não há requisitos de ordem legal no local das obras, devem ser adotados valores de área de abertura para ventilação (A) conforme a localização da edificação em relação a zona bioclimática definida pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

De acordo com a norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013), os requisitos de abertura para ventilação, estabelecem o seguinte:

- A habitação deve apresentar aberturas nas fachadas com dimensões mínimas, que

proporcione ventilação interna adequada aos ambientes de longa permanência;

- As aberturas devem atender à legislação local específica para o local da obra. No caso da cidade de São Carlos – SP, não existe uma legislação específica para a área de aberturas em habitações unifamiliares.

Desta forma, devem ser adotados os valores conforme a Norma de Desempenho de área de abertura para ventilação (A), e de acordo com a especificação da zona bioclimática, no qual a edificação está inserida, segundo a norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

A Tabela 10 traz a área mínima e o resultado obtido para o critério de área mínima de ventilação em dormitórios e sala de estar (A) para a habitação unifamiliar em wood frame avaliada para os critérios da norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Tabela 10: Requisitos e resultados da área mínima de ventilação em dormitório e sala de estar do objeto de estudo

Aberturas de ventilação (A)						
ZONA BIOCLIMÁTICA	CRITÉRIO	AMBIENTE	RESULTADOS			
			Área Piso (m²)	Área Janela/Porta (m²)	Proporção Aberturas/Piso (%)	Requisito
4	A ≥ 7% da área de piso	Quarto Suíte 1	19,15	12,60	65,79	Atende
		Quarto Suíte 2	11,01	5,28	47,95	Atende
		Quarto Suíte 3	11,01	5,28	47,95	Atende
		Sala de Estar	32,97	22,31	67,66	Atende

Fonte: Autora, 2023

Através dos dados climáticos analisados, todas as aberturas que compõe o sistema de janelas e portas internas e externas, atenderam aos requisitos mínimos de ventilação.

O quarto suíte 1, obteve um resultado de 19,15m² de área, o quarto suíte 2 e o quarto suíte 3, obtiveram um resultado de 11,01m² e a sala de estar, obteve um resultado de 32,97m², concluindo desta forma um conforto adequado aos usuários conforme exigido pela norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

No entanto, é necessário propor soluções de ventilação que gerem um melhor desempenho térmico, uma vez que estes não apresentaram resultados satisfatórios para o

conforto dos usuários nos resultados de desempenhos térmicos de inverno e verão apresentados anteriormente para alguns cômodos analisados, propondo assim estratégias arquitetônicas e bioclimáticas para tais aberturas.

Desta forma a área efetiva de ventilação (A), de cada um dos ambientes avaliados, atende ao requisito de área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar estabelecido na Parte 4 da norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

5.3 Análise Projetual

A análise foi elaborada através do estudo das cartas solares e por meio destas, perceber e assimilar a trajetória solar e a insolação e sombreamento na fachada do objeto estudado.

Esse estudo mostrará se será necessário barrar ou permitir a insolação, atingindo a estratégia que for mais adequada para o conforto térmico dos usuários.

As Figuras 59 e 60, demonstram a análise realizada para os períodos de inverno e verão nos ambientes quarto suíte 1, suíte 2, suíte 3 e sala de estar, apresentando resultados a partir das análises da pesquisa apresentada para a habitação unifamiliar ao longo do ano na cidade de São Carlos – SP.

A análise feita sobre o ambiente quarto suíte 1, só demonstra a partir de seus resultados de análise projetual, a confirmação e a constatação no ambiente para o período de 22 a 24 de junho de 2021, o que compreende o inverno, o resultado não satisfatório da capacidade térmica, de acordo com a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013), apresentado no início deste capítulo.

Sobre os ambientes quarto suíte 2 e ambiente quarto suíte 3, só demonstra a partir de seus resultados de análise projetual, a confirmação e a constatação nos ambientes para o período de 22 a 24 de junho de 2021, o que compreende o inverno, o resultado satisfatório da capacidade térmica e transmitância térmica para ambos os ambientes, de acordo com a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013). Porém, o ambiente quarto suíte 2 e quarto suíte 3, não atenderam ao nível superior de desempenho, o que demonstra que o sombreamento recebido durante todo o dia interfere em um melhor resultado de desempenho quanto ao quesito de conforto térmico.

O ambiente sala de estar, só demonstra a partir de seus resultados de análise projetual, a confirmação e a constatação no ambiente para o período de 22 a 24 de junho de 2021, o que compreende o inverno, o resultado satisfatório da capacidade térmica e transmitância térmica, de acordo com a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013). Porém, o ambiente sala de estar, não atendeu a nenhum dos níveis de desempenho, o que demonstra que o sombreamento recebido durante todo o dia interfere em um melhor resultado de desempenho quanto ao quesito de conforto térmico.

O ambiente quarto suíte 1, só demonstra a partir de seus resultados de análise projetual, a confirmação e a constatação no ambiente para o período de 18 a 20 de dezembro de 2021, o que compreende o verão, o resultado não satisfatório da capacidade térmica, apenas de transmitância térmica, de acordo com a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013). Porém, o ambiente quarto suíte 1, não atendeu ao nível intermediário e superior de desempenho, o que demonstra que a temperatura interna esteve maior que a externa em seu maior período de tempo. É possível identificar uma deficiência no sombreamento no período de verão para o ambiente citado, necessitando de um melhor conforto ambiental para os usuários em questão.

Sobre os ambientes quarto suíte 2 e ambiente quarto suíte 3, só demonstra a partir de seus resultados de análise projetual, a confirmação e a constatação nos ambientes para o período de 18 a 20 de dezembro de 2021, o que compreende o verão, o resultado satisfatório da capacidade térmica e transmitância térmica para ambos os ambientes, de acordo com a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013). Porém, ambos, não atenderam ao nível superior de desempenho, quando a temperatura interna do ambiente é superior à temperatura externa, o que demonstra que o sombreamento recebido durante todo o dia ainda não é suficiente para um melhor resultado de desempenho quanto ao quesito de conforto térmico.

O ambiente sala de estar, só demonstra a partir de seus resultados de análise projetual, a confirmação e a constatação nos ambientes para o período de 18 a 20 de dezembro de 2021, o que compreende o verão, o resultado satisfatório da capacidade térmica e transmitância térmica para o ambiente citado, de acordo com a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013), apresentado no início deste capítulo.

Porém, o ambiente sala de estar, não atendeu a nenhum dos níveis de desempenho, demonstrando que todas as temperaturas internas estavam superiores à temperatura externa, o que não é suficiente para um melhor resultado de desempenho quanto ao quesito de conforto térmico de seus usuários.

6. CONCLUSÕES

Com base nas análises e discussões dos resultados apresentados nesta Dissertação de Mestrado, foi possível delinear as seguintes conclusões para os objetos propostos:

6.1 Objetivo específico 01

- Avaliar de acordo com os requisitos da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), o desempenho térmico de ambientes como suíte 1, suíte 2, suíte 3 e sala de estar de uma habitação unifamiliar localizada na cidade de São Carlos/SP.

Conclusão: A partir das análises dos resultados obtidos, é possível concluir que, para a situação de inverno, o desempenho térmico da suíte 1, a suíte 2 e a suíte 3, não atenderam ao requisito superior conforme estabelecido pela norma brasileira de desempenho, entretanto, quando se refere à capacidade térmica e transmitância, somente a suíte 2 e suíte 3 atenderam aos dois parâmetros. A suíte 1 não atendeu à capacidade térmica conforme previsto pela NBR 15575. O que pode explicar tal situação, é que a fachada principal da suíte 1 recebe muita sombra ao longo dos dias, conforme as imagens de Sketchup mostram. Ainda com relação ao inverno, a suíte 3 não atendeu ao requisito superior, mas apresentou capacidade e transmitância térmicas de forma satisfatória com relação à norma brasileira de desempenho. Com relação à sala, no período de inverno, esta não atendeu a nenhum requisito, mas apresentou capacidade e transmitância térmica na fachada leste e não atendeu a capacidade térmica para a fachada sul. Isso se deve ao fato das aberturas em vidro e que recebe pouca incidência solar. Com relação ao período analisado durante o verão, no caso da suíte 1, somente o requisito mínimo é atingido. Nas suítes 2 e 3, é atingido o requisito intermediário em ambos os ambientes.

A questão de receber muita sombra ao longo dos dias, pode explicar o resultado para esse caso. Por fim, com relação à sala, quando se trata do período de verão, também não foi atingido nenhum requisito. A sala recebe muita incidência solar durante o verão e por apresentar muita parcela de vidro, esquentando, o vidro impede que o calor seja devolvido deixando a sala quente, sendo que, a temperatura interna seja maior que a temperatura externa.

6.2 Objetivo específico 02

- Analisar a insolação através de sua implantação, por meio de cartas solares – fachadas norte, sul, leste e oeste.

Conclusão: As cartas solares das fachadas norte, sul, leste e oeste demonstraram que, caso a implantação do objeto de estudo seja alterada, os resultados do desempenho térmico, provavelmente, poderão atender aos requisitos de desempenho máximo da norma brasileira de desempenho NBR 15757 (ABNT, 2013).

6.3 Objetivo específico 03

- Analisar o projeto através de simulações por meio do software SketchUp.

Conclusão: A partir das análises realizadas na simulação do software SketchUp, foram identificados problemas e para que pudesse apresentar algumas recomendações aos projetistas, uma nova simulação no software foi realizada, para o quesito implantação. O posicionamento da habitação em relação à orientação geográfica, direção dos ventos predominantes, cartas solares e insolação/sombreamento podem fazer toda a diferença.

O sistema de isolamento térmico proposto no projeto não é adequado para o sistema construtivo proposto. É necessário demonstrar através dos cenários a diferença do funcionamento de estratégias bioclimáticas, sendo este um item de grande importância e de recomendação de projetistas para o projeto de todas as residências.

6.4 Objetivo geral

- O objetivo desta pesquisa é avaliar, a partir da norma brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013), o desempenho termoacústico de uma habitação unifamiliar em *Light Wood Frame* construída no município de São Carlos/SP.

Conclusão: A partir dos resultados obtidos por essa pesquisa, é possível concluir que, provavelmente, a norma brasileira de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), não possa ser empregada para avaliação do sistema construtivo *Light Wood Frame*. Cabe ainda salientar que, de acordo com a análise projetual, a implantação do projeto é fator determinante para o desempenho térmico adequado. Outra questão que deve ser levada em consideração é a quantidade de vidro nas fachadas e a área de sombra.

(Página intencionalmente deixada em branco)

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento desta Dissertação atendeu aos objetivos que foram propostos, e, em consequência destes estudos, são sugeridos os seguintes trabalhos futuros:

- I. Realizar ensaios de estanqueidade, segurança contra incêndio e segurança estrutural (corpo mole e corpo duro) e analisar os resultados obtidos em comparação com a NBR 15575 (ABNT, 2013), como forma de complementar a pesquisa desenvolvida nesta Dissertação;
- II. Realizar medições de desempenho térmico e acústico entre os ambientes, contemplando toda a unidade habitacional, como forma de aferir e comparar os resultados obtidos;
- III. Comparar os resultados obtidos por meio desta pesquisa e também de ensaios complementares (estanqueidade, segurança contra incêndio, corpo mole e corpo duro) em relação aos parâmetros estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2021);
- IV. Realizar simulações computacionais a partir da implantação da unidade habitacional objeto de estudo a 45°, como forma de comparar os resultados obtidos com os resultados da presente pesquisa; e
- V. Realizar simulações computacionais visando analisar o desempenho térmico da unidade habitacional objeto de estudo, a partir de mudanças no isolamento térmico das paredes.

(Página intencionalmente deixada em branco)

REFERÊNCIAS

_____. NBR 10151: **Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2000.

_____. NBR 10152: **Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações**. Rio de Janeiro, 2017. Versão Corrigida 2020.

_____. NBR 15220-2: **Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2005 Versão Corrigida 2008.

_____. NBR 15575-1: **Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos para os sistemas estruturais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. NBR 15575-2: **Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 2: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. NBR 15575-4: **Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. NBR 15575-5: **Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Desempenho. Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. NBR 7190: **Estruturas em madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

_____. ISO 7726:1998: **Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities**. 1997.

ABBATE, V. **Do bloco ao painel**. *Téchne*, p. 35-39 p. 2002.

ABDI (2015), Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Manual da construção industrializada – conceitos e etapas**, Vol. 1: Estrutura e vedação. Brasília.

ALLEN, E.; THALLON, R. **Fundamentals of Residential Construction** Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2011.

ASDRUBALI, F. et al NUNES et al. *A review of structural, thermo-physical, acoustical and environmental properties of wooden materials for building applications*. *Building and Environment*, v.114, p. 307-332, 2017.

BORJEGHALEH, R. M. SANDROUD, J. M. *Approaching Industrialization of Buildings and Integrated Construction Using Building Information Modeling*. *Procedia Engineering*, v. 164, ju.2016.

BORK, C. A. S.; BARBA JR, D. J. D.; GOMES, J. O. *Social Life Cycle Assessment of three Companies of the Furniture Sector*. Procedia CIRP, v. 29, p. 150-155, 2015.

CANADIAN WOOD COUNCIL. *Building performance series*. Ottawa: Lomor Printer, 2000.

CARDOSO, F.F. (2015a). **Estratégias para a formulação de política de ciência, tecnologia e inovação para a indústria da construção civil**. Brasília: ANTAC, CBIC.

DE ARAÚJO, V. *Wood frame: light framing houses for developing countries*. *Revista de la Construcción*. v.15, n.2, p. 78-87, 2016.

DIRETRIZ SINAT Nº 005. **Diretriz para sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo Light Wood Framing)**. Brasília, setembro 2017.

ESPÍNDOLA, L.R. **O wood frame na produção de habitação social no Brasil**. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

LEAL, A. et al. **Aspectos Históricos**. 2011.

MOLINA, J. C.; CALIL JUNIOR, C. **Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira**. Seminário: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, 2010.

MOLINA, J. C. **Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira**. São Paulo, SP, 2010. Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, V.31, n.2, 2010.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da Madeira**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Florestal. Universidade de São Paulo. Curitiba, 2014.

MURARI, A. R. **Avaliação do desempenho termoacústico de painéis de vedação vertical em Wood Frame. Estudo de Caso: Habitação Unifamiliar em São Carlos-SP**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2018.

NANAMI, N.; NAKAJIMA, S.; ARIMA, T.; KAWAI, M. *Durability of a wood frame construction house built in the 1920's*. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 5., 1998, Montreux. Proceedings... Montreux: WCTE, 1998. p. 752-753.

OLIVEIRA, C.F. **Autoconstrução em madeira estudo de caso: Florianópolis/SC**. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

OLIVEIRA, E. **Contribuição para análise do ciclo de vida no ambiente construído visando a energia e CO2 embutidos no sistema construtivo wood frame**. Dissertação

(Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

PFEIL, W; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2003 e 2004.

SANTOS, G.V. (2012). **Proposta de modelo construtivo em Wood Frame: bamboo frame no Brasil**. Dissertação (Mestrado). 8º Congresso de extensão universitária UNESP.

SILVA, A. C.; GONÇALVES, M. R. (2004). **Avaliação de desempenho térmico de protótipo de unidade habitacional pré-moldada de placas lisas cimentícias em zona bioclimática 2 (inverno)**. XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

SHIGUE, K. E. **Difusão da construção em madeira no Brasil: agentes, ações e produtos**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2018.

STAMATO, G. C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. C. (2008). **Projeto Educação em Madeira**. XI EBRAMEM.

TAKASE, Y. (1981). *An assessment of the potencial of the United States stick-built house for self-help construction (master)*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.

TÉCHNE. (2009). **Popular com tecnologia**. Técnica, Ed. 59. Fev 2009. São Paulo: Pini.

TECVERDE (2013). **Case Tecverde para construções de alto padrão e habitações de interesse social**. Curitiba: Expo Madeira & Construção.

THALLON, R. *Graphic guide to frame construction*. 3.ed. Newtown (CT): Taunton Press, 2008.

TORQUATO, L. M. **Estudo Comparativo quanto a preceitos da Sustentabilidade entre o Método Tradicional de Produção e o Sistema Light Wood Framing para a construção de Biblioteca Cidadã**. Curitiba, 2010. 19 p.

TONELLI, C.; GRIMAUDDO, M. *Timber buildings and thermal inertia: open scientific problems for summer behavior in Mediterranean climate*. Energy and Building and Environment, v. 114, p. 307-332, 2017.

VASQUES, C. C. P. C. F.; PIZZO, L. M. B. F. **Comparativo de sistemas construtivos, convencional e wood frame em residências unifamiliares**. 2004.

VILLORIA, S.P. *Sistema de gestion de residuos de construcción y demolición en obras de edificación residencial. Buenas practicas en la ejecución de obra*. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Construções Arquitetônicas e seu Controle. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2014.

ZANI, A. C. **Arquitetura em madeira**. Londrina: Eduel; São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2013. 396 p.

ZHONG, Y.; WU, P. *Economic sustainability, environmental sustainability and constructability indicators related to concrete and steel projects*. Journal of Cleaner Production, v. 108, p. 748-756, 2015.