



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Mozzara Oliveira da Fonseca

Impacto da revisão do item de desempenho térmico da ABNT NBR 15575:
estudo de caso em Pelotas/RS

Florianópolis
2023

Mozzara Oliveira da Fonseca

**Impacto da revisão do item de desempenho térmico da ABNT NBR 15575:
estudo de caso em Pelotas/RS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Devis Luis Marinoski, Dr.
Coorientador: Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Fonseca, Mozzara Oliveira da
Impacto da revisão do item de desempenho térmico da
ABNT NBR 15575 : estudo de caso em Pelotas/RS / Mozzara
Oliveira da Fonseca ; orientador, Deivis Luis Marinoski,
coorientador, Fernando Simon Westphal, 2023.
149 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. NBR 15575. 3. Habitação de
Interesse Social. 4. Simulação Computacional. I. Marinoski,
Deivis Luis. II. Westphal, Fernando Simon . III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

Mozzara Oliveira da Fonseca

Impacto da revisão do item de desempenho térmico da ABNT NBR 15575: estudo de caso em Pelotas/RS

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 29 de setembro de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Antonio Cesar Silveira Baptista da Silva, Dr.
Universidade Federal de Pelotas

Prof. Saulo Guths, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.



Fernanda Fernandes Marchiori
Coordenação do Programa de Pós-Graduação



Prof. Devis Luis Marinowski, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2023.

Dedicado à Fernanda Oliveira.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Deivis Marinoski, meu orientador, por quem possuo imensa admiração, pela disponibilidade em me orientar, por todo conhecimento transmitido durante cada orientação, pelo grande incentivo e por ter contribuído para realização do meu grande sonho.

Ao professor Fernando Westphal, meu coorientador, por todas as contribuições durante a confecção deste trabalho. Muito obrigada, todo o conhecimento repassado foi fundamental para realização desta pesquisa.

À minha mãe Fernanda Oliveira, por me impulsionar desde sempre a seguir os melhores caminhos, por sempre ter priorizado o meu estudo e aperfeiçoamento. Obrigada por ter me ensinado que o caminho do saber é o melhor bem que eu posso adquirir. Sorte a minha de ter você como mãe.

À minha vó Elodina Oliveira, por ter cuidado de mim a vida toda, ser minha incentivadora e por sempre comemorar todas as minhas vitórias, tudo o eu sou, devo a ti que sempre me ajudou em todas as dificuldades.

Ao meu namorado Túlio Santos, por ser meu companheiro de vida, por todo apoio e carinho, por dividir a vida comigo me incentivando sempre a crescer e seguir atrás dos meus sonhos, mesmo que às vezes sejam bem diferentes dos seus. Muito obrigada por ter me auxiliado na coleta dos dados me ajudando na instalação dos aparelhos nos apartamentos e por todo conhecimento compartilhado.

À Olavo Rocha Construtora, por permitir a realização deste estudo, em especial a Vanra Zanettin e a Alessandra Silva, por não medirem esforços para me ajudar, por acreditarem em mim, por me cederem todas as informações necessárias para a pesquisa e por concederem as chaves dos apartamentos para realização da coleta de dados. Muito obrigada por tudo, vocês foram indispensáveis para que esse momento virasse realidade.

A todos os meus amigos e família que torceram por mim, contribuindo de alguma forma para realização desse trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

Nesta pesquisa, a análise do desempenho térmico em habitações de interesse social, conforme estipulado pela NBR 15575, ganha destaque. A recente revisão da norma, que ocorreu em 2021, desencadeou a introdução de novos indicadores de desempenho térmico, uma medida que modificou a avaliação e trouxe uma abordagem mais contemporânea para o desenvolvimento dessas estruturas habitacionais. O foco primordial deste estudo reside na avaliação dos impactos gerados pela revisão da NBR 15575 nos métodos empregados para avaliar o desempenho térmico. Para atingir esse propósito, uma análise comparativa foi conduzida, contrastando os procedimentos delineados na versão de 2013 com as modificações incorporadas na revisão de 2021. Para atender a isto, foram empregados diferentes processos, incluindo tanto o método simplificado, como simulações computacionais e medições *in loco*. O método simplificado não classificou a edificação, exigindo simulação computacional em ambas as versões da NBR 15575. Para o procedimento de simulação computacional, a avaliação pela norma de 2013 alcançou nível mínimo de desempenho térmico, porém a versão de 2021 diagnosticou inadequação térmica no térreo, impedindo a classificação. Por outro lado, o método relativo à medição *in loco* é apresentado apenas na versão 2013, sendo caracterizado somente como informativo. Mediante essa investigação, emerge um melhor entendimento das mudanças que foram introduzidas por meio da revisão da NBR 15575, especificamente no contexto do desempenho térmico. O propósito subjacente desta pesquisa é contribuir para a elucidação das transformações ocorridas na norma, bem como suas implicações, no âmbito das condições térmicas dessas habitações. Isso reveste-se de significado fundamental para aprimorar a qualidade das moradias destinadas às populações de baixa renda. Assim, é notório como a revisão da NBR 15575, com ênfase no desempenho térmico, ressurge como um catalisador crucial no panorama de execução de obras habitacionais.

Palavras-chave: NBR 15575; Desempenho Térmico; Habitação de Interesse Social.

ABSTRACT

In this study, the analysis of thermal performance in low-income housing, as stipulated by NBR 15575, takes center stage. The recent revision of the standard, which occurred in 2021, triggered the introduction of new thermal performance indicators, a measure that changed the evaluation and brought a more contemporary approach to the development of these housing structures. The primary focus of this study lies in evaluating the impacts generated by the revision of NBR 15575 on the methods used to assess thermal performance. To achieve this purpose, a comparative analysis was conducted, contrasting the procedures outlined in the 2013 version with the modifications incorporated in the 2021 revision. To address this, different processes were employed, including both the simplified method, computational simulations, and on-site measurements. The simplified method did not classify the building, requiring computational simulation in both versions of NBR 15575. For the computational simulation procedure, the evaluation according to the 2013 standard achieved a minimum level of thermal performance, but the 2021 version diagnosed thermal inadequacy on the ground floor, preventing classification. On the other hand, the method related to on-site measurement is only presented in the 2013 version, being characterized solely as informative. Through this investigation, a better understanding of the changes introduced through the revision of NBR 15575 emerges, specifically in the context of thermal performance. The underlying purpose of this research is to contribute to elucidating the transformations that have occurred in the standard, as well as their implications, in the realm of thermal conditions in these housing units. This is of fundamental significance to enhance the quality of housing for low-income populations. Thus, it is evident how the revision of NBR 15575, with an emphasis on thermal performance, emerges as a crucial catalyst in the landscape of housing construction.

Keywords: NBR 15575; Thermal Performance; Social Interest Housing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Principais mudanças nos métodos de avaliação realizadas na revisão da NBR 15575.....	21
Figura 2	Esquema para avaliação de desempenho por simulação da NBR 15575.....	30
Figura 3	Zoneamento bioclimático brasileiro baseado na NBR 15220.....	37
Figura 4	Fluxograma da metodologia.....	50
Figura 5	Localização geográfica do município de Pelotas – RS.....	52
Figura 6	Representação das zonas bioclimáticas do Rio Grande do Sul, com destaque para Pelotas.....	53
Figura 7	Médias mensais de temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) de Pelotas.....	54
Figura 8	Localização do empreendimento.....	55
Figura 9a	Visão geral do empreendimento.....	56
Figura 9b	Fachada do objeto de estudo.....	56
Figura 10	Planta baixa do pavimento tipo (sem escala).....	57
Figura 11	Padrões de ocupação diários dos APP.....	69
Figura 12	Padrões de uso do sistema de iluminação artificial.....	70
Figura 13	Condições de conforto térmico para Camaquã-RS.....	73
Figura 14	Médias mensais de temperatura do ar (°C) de Pelotas – RS e Camaquã – RS.....	73
Figura 15	Recomendação de dados climáticos segundo o PROJETE... ..	74
Figura 16	Médias mensais de temperatura do ar (°C) de Pelotas – RS e Canguçu – RS.....	75
Figura 17	Localização do bloco 02 do empreendimento (sem escala).....	76
Figura 18	Representação do ponto de medição em campo (sem escala)...	77

Figura 19	HOBO U12-001 <i>Data Logger</i> da ONSET.....	78
Figura 20	Especificações HOBO U12-001 <i>Data Logger</i> da ONSET.....	78
Figura 21	Instalação em campo dos sensores de temperatura.....	79
Figura 22	Distribuição dos registradores de temperatura para análise de calibração.....	80
Figura 23	Unidades habitacionais utilizadas para simulação computacional (sem escala).....	90
Figura 24a	Representação do apartamento 502 do Bloco 01.....	91
Figura 24b	Representação do apartamento 504 do Bloco 03.....	91
Figura 25	Construção das camadas do item cobertura no <i>OpenStudio</i>	92
Figura 26	Zonas térmicas do apartamento 502 do bloco 01.....	93
Figura 27	Zonas térmicas do apartamento 504 do bloco 03.....	95
Figura 28a	Representação do modelo real.....	98
Figura 28b	Representação do modelo de referência.....	98
Figura 29a	Zonas térmicas da simulação em planta baixa.....	99
Figura 29b	Zonas térmicas em 3D do modelo.....	99
Figura 30a	Entorno da edificação do modelo referência.....	100
Figura 30b	Entorno da edificação do modelo real.....	100
Figura 31a	Resultados obtidos para o pavimento térreo.....	106
Figura 31b	Resultados obtidos para o pavimento tipo e pavimento de cobertura.....	106
Figura 32	Resultado do $PHFT_{UH}$ do modelo real e do modelo de referência para a UH.....	107
Figura 33	Resultado da $CgTR$ e $CgTA$ do modelo real e do modelo de referência para a UH.....	107
Figura 34	Resultado da Tomáx e Tomín do modelo real e do modelo de referência para a UH.....	108

Figura 35	Varição de temperatura do ar interno durante 40 dias para o período de verão.....	110
Figura 36	Medição <i>in loco</i> – Seleção de intervalo representativos para o período de verão.....	111
Figura 37	Varição de temperatura do ar diária, destacando o dia típico de verão.....	112
Figura 38	Varição de temperatura do ar interno durante 40 dias para o período de inverno.....	113
Figura 39	Varição de temperatura do ar diária, destacando o dia típico de inverno.....	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Transmitância térmica das paredes externas.....	14
Tabela 2	Capacidade térmica das paredes externas.....	14
Tabela 3	Área mínima de ventilação em dormitórios e sala de estar.....	15
Tabela 4	Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica.....	15
Tabela 5	Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.....	18
Tabela 6	Critério de avaliação de desempenho térmico para condição de inverno.....	18
Tabela 7	Transmitância térmica de referência para paredes externas.....	22
Tabela 8	Capacidade térmica de referência de paredes externas.....	23
Tabela 9	Percentual de abertura de referência para ventilação.....	24
Tabela 10	Proporção de referência dos elementos transparentes.....	26
Tabela 11	Transmitância térmica de referência para coberturas.....	27
Tabela 12	Intervalos de temperaturas externas de bulbo seco.....	32
Tabela 13	Faixas de temperaturas operativas para a determinação do $PHFT_{APP}$	32
Tabela 14	Critério de avaliação de desempenho térmico da envoltória a quanto ao $PHFT_{UH}$	33
Tabela 15	Valores de temperatura operativa para o cálculo da $CgTR_{APP}$ e $CgTA_{APP}$	35
Tabela 16	Critério de avaliação de desempenho térmico da envoltória quanto à $CgTT_{UH}$	35
Tabela 17	Nova proposta para o Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	39
Tabela 18	Características dos ambientes do apartamento padrão.....	56
Tabela 19	Propriedades térmicas das paredes e cobertura.....	59

Tabela 20	Avaliação das áreas efetivas de ventilação natural das unidades habitacionais.....	60
Tabela 21	Avaliação dos elementos transparentes dos ambientes de permanência prolongada.....	61
Tabela 22	Características dos materiais aplicados para simulação.....	63
Tabela 23	Camadas do sistema construtivo do objeto de estudo.....	64
Tabela 24	Dia típico de verão e dia típico de inverno na cidade de Camaquã – RS.....	66
Tabela 25	Densidade de potência instalada, fração radiante e fração visível.....	70
Tabela 26	Descrição dos parâmetros da ventilação natural para esquadrias.....	71
Tabela 27	Coordenadas geográficas das cidades de Pelotas, Camaquã, Canguçu e São Lourenço.....	75
Tabela 28	Fatores de correção dos valores de TBS medidos para o período de verão.....	81
Tabela 29	Fatores de correção dos valores de TBS medidos para o período de inverno.....	82
Tabela 30	Avaliação das propriedades térmicas da parede e cobertura para ZB2.....	84
Tabela 31	Avaliação do percentual de abertura para ventilação das unidades habitacionais.....	85
Tabela 32	Avaliação do percentual de elementos transparentes dos APP.....	87
Tabela 33	Critério para avaliação pelo procedimento simplificado da NBR 15575:2021.....	87
Tabela 34	Simulação térmica do apartamento 504, bloco 04 para o período de verão.....	94
Tabela 35	Simulação térmica do apartamento 502, bloco 07 para o período de inverno.....	96
Tabela 36	Propriedades térmicas de paredes e pisos para o modelo de referência.....	100
Tabela 37	Propriedades térmicas da cobertura para o modelo de referência.....	101
Tabela 38	Características dos elementos transparentes nas esquadrias para o modelo de referência.....	101

Tabela 39	Percentual de abertura para ventilação nas esquadrias para o modelo de referência.....	101
Tabela 40	Características dos perfis das esquadrias para o modelo de referência.....	101
Tabela 41	Resultados dos indicadores de desempenho para o pavimento térreo.....	104
Tabela 42	Resultados dos indicadores de desempenho para o pavimento tipo...	105
Tabela 43	Resultados dos indicadores de desempenho para o pavimento de cobertura.....	105
Tabela 44	Resultados obtidos para cada versão da NBR.....	117

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Abertura para Ventilação
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ap	Área de Piso dos Ambientes
APP	Ambiente de Permanência Prolongada
APT	Ambientes de Permanência Transitória
At	Área da Superfície dos Elementos Transparentes
BNH	Banco Nacional de Habitação
CEF	Caixa Econômica Federal
CgTT	Carga Térmica Total
COHAB	Companhia de Habitação Popular
CT	Capacidade Térmica
DPI	Densidade de Potência Instalada
FCP	Fundação da Casa Popular
FT	Fator de Correção da Transmitância
HIS	Habitação de Interesse Social
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LABCEE	Laboratório de Conforto e Eficiência Energética
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
NBR	Norma Brasileira
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
PCVA	Programa Casa Verde e Amarela

PHFT	Percentual de Horas de Ocupação dentro de uma Faixa de Temperatura Operativa
PMCMV	Programa Minha Casa, Minha Vida
PPGEC	Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
Pt	Percentual de Elementos Transparentes
Pv	Percentual de Abertura para Ventilação
RedCgTT	Redução da Carga Térmica Total
SiAC	Sistema de Avaliação da Conformidade de Serviços e Obras
SiNAT	Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais
SNHIS	Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social
SVVE	Sistemas de Vedações Verticais Externas
TBS	Temperatura de Bulbo Seco
Te,máx	Valor Máximo Diário da Temperatura do Ar Exterior à Edificação
Ti,máx	Valor Máximo Diário da Temperatura do Ar no Interior da Edificação
Te,mín	Valor Mínimo Diário da Temperatura do Ar Exterior à Edificação
Ti,mín	Valor Mínimo Diário da Temperatura do Ar no Interior da Edificação
To,máx	Temperatura Operativa Anual Máxima
To,mín	Temperatura Operativa Anual Mínima
U	Transmitância Térmica
UH	Unidade Habitacional
VUP	Vida Útil de Projeto
WHO	<i>World Health Organization</i>
ZB	Zona Bioclimática

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
1.1 OBJETIVOS.....	8
1.1.1 Objetivo Geral	8
1.1.2 Objetivos Específicos	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL.....	9
2.2 NORMAS E REGULAMENTOS	12
2.2.1 Requisitos de Desempenho Térmico pela ABNT NBR 15575:2013	12
<i>2.2.1.1 Procedimento Simplificado</i>	13
<i>2.2.1.2 Procedimento de Simulação Computacional</i>	16
2.2.1.2.1 Requisitos de Desempenho no Verão.....	17
2.2.1.2.2 Requisitos de Desempenho no Inverno.....	18
<i>2.2.1.3 Procedimento de Medição in Loco</i>	19
2.2.2 Requisitos de Desempenho Térmico pela ABNT NBR 15575:2021	19
<i>2.2.2.1 Procedimento Simplificado</i>	22
<i>2.2.2.2 Procedimento de Simulação Computacional</i>	29
2.2.3 ABNT NBR 15220:2005 e o Zoneamento Bioclimático Brasileiro	36
<i>2.2.3.1 Zoneamento Bioclimático</i>	36
2.3 SIMULAÇÃO ENERGÉTICA E O <i>ENERGYPLUS</i>	40
2.4 COMPONENTES CONSTRUTIVOS DA ENVOLTÓRIA E O DESEMPENHO TÉRMICO	42
2.4.1 Vedações Verticais	42
2.4.2 Sistemas de Coberturas	46
2.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO	47
3 METODOLOGIA	50
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO	51

3.1.1	Localização do Objeto de Estudo	52
3.1.2	Características do Empreendimento	55
3.2	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO	58
3.2.1	Procedimento Simplificado	58
3.2.1.1	<i>NBR 15575:2013</i>	58
3.2.1.2	<i>NBR 15575:2021</i>	60
3.2.2	Procedimento de Simulação Computacional	62
3.2.2.1	<i>NBR 15575:2013</i>	62
3.2.2.1.1	Construção: Propriedades Térmicas dos Materiais	62
3.2.2.1.2	Contato com o Solo.....	64
3.2.2.1.3	Padrão de Uso e Ocupação e Comportamento do Usuário	65
3.2.2.1.4	Infiltração de ar	65
3.2.2.1.5	Referência dia típico de verão e dia típico de inverno para Pelotas – RS.	65
3.2.2.2	<i>NBR 15575:2021</i>	67
3.2.2.2.1	Construção: Propriedades Térmicas dos Materiais	67
3.2.2.2.2	Contato com o Solo.....	68
3.2.2.2.3	Padrão de Uso e Ocupação	69
3.2.2.2.4	Comportamento do Usuário	70
3.2.2.2.5	Arquivo Climático	72
3.2.3	Medição <i>In Loco</i> da Temperatura do Ar Interno	76
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	84
4.1	PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO DA NBR 15575:2013	84
4.2	PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO DA NBR 15575:2021	86
4.3	PROCEDIMENTO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA NBR 15575:2013.	88
4.3.1	Avaliação de Desempenho Térmico da Edificação	91
4.3.1.1	<i>Análise para o Período de Verão</i>	93
4.3.1.2	<i>Análise para o Período de Inverno</i>	95
4.3.2	Nível de Desempenho Térmico Alcançado pela Edificação	96

4.4 PROCEDIMENTO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA NBR 15575:2021.	97
4.4.1 Avaliação de Desempenho Térmico da Edificação	97
4.4.1.1 <i>Modelo de Referência</i>	100
4.4.1.2 <i>Modelo Real</i>	103
4.4.2 Nível de Desempenho Térmico Alcançado pela Edificação	103
4.5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES <i>IN LOCO</i>	109
4.5.1 Análise dos Dados de Medição <i>In Loco</i> para o Verão	109
4.5.2 Análise dos Dados de Medição <i>In Loco</i> para o Inverno	113
4.6 SÍNTESE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	116
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	118
5.1 LIMITAÇÕES	121
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	122
ANEXOS	132

1 INTRODUÇÃO

Segundo um estudo realizado pela *World Health Organization* (WHO, 2018), aproximadamente 1 bilhão de pessoas no mundo vivem em habitações irregulares, em locais onde há perigos relativos à infraestrutura da edificação, sem o mínimo condicionamento de saneamento ambiental, sujeitas a diversos tipos de contaminações que culminam em doenças respiratórias e problemas até de saúde mental, devido ao estresse causado pelo desconforto do ambiente.

Nesse sentido, a habitação deve desempenhar a função de proteção e abrigo contra a ação de intempéries para os indivíduos que nela residem e necessitam oferecer conforto e segurança para os seus usuários (OLIVEIRA; OMENA; BRITO, 2022).

No Brasil, a questão relacionada ao elevado déficit habitacional – cerca de 5,8 milhões de moradias, segundo o Ministério do Desenvolvimento do Brasil – assim como a falta de moradias apropriadas, possui quase como regra, a maioria dos casos relacionados ao processo de desigualdade econômica que acomete o nosso país, sendo que a necessidade por moradias, frequentemente, acarreta em ocupações irregulares, onde a construção é adaptada conforme a necessidade imediata do indivíduo, colocando em situações de vulnerabilidade às famílias que optam por esse processo (SEBBEN *et al.*, 2022).

Assim sendo, em 2005 foi instituída uma lei no Brasil que estabelece a constituição do Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS) que possui como principais objetivos a habitação digna e sustentável, assim como democratização ao acesso à terra urbanizada (LIMA, *et al.*, 2021). Desse modo, os autores apresentam que um dos resultados dessa lei foi a concepção do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) criado em 2009 pelo Governo Federal em parceria com os estados e municípios, administrado pelo Ministério das Cidades e operacionalizado pela Caixa Econômica Federal (CEF), havendo sido criado para suprir o novo contexto da necessidade de habitação e qualidade de vidas nas áreas urbanas.

Após a criação do programa, constatou-se uma melhoria no atendimento efetivo as camadas mais pobres da população, mas houve a perpetuação padronizada dos sistemas construtivos avistados pelos empreendimentos que se enquadravam nesse tipo de modelo, onde tentavam resolver um problema complexo

da sociedade por meio de solução única, sem levar em consideração as particularidades que cada cidade brasileira exige, afetando diretamente o desempenho das edificações (GALLO; LOGSDON; COSTA, 2022).

Nessa perspectiva, estudos de D'Avila e Graff (2020), Santos, Porto e Silva (2020), GUARDA *et al.* (2018) salientam a problemática de que no Brasil, as HIS são planejadas para atender produções em larga escala, efetuando reaproveitamento do método construtivo para diversas construções com o intuito de aumento de produtividade, não considerando as condições climáticas da região de cada projeto.

Com o intuito de melhorar o desenvolvimento das HIS, o Regimento Geral do Sistema de Avaliação da Conformidade de Serviços e Obras (SiAC), passou por uma revisão e em 2018 foi atualizado, passando a exigir o atendimento a NBR 15575 (ABNT, 2013) – que recentemente passou por nova atualização em 2021 – a qual possui como objetivo esclarecer os itens para atendimento aos requisitos de desempenho e habitabilidade das edificações (LAZZARINI & HIPPERT, 2021). Dessa forma, o Regimento Geral do SiAC solicita a realização de ensaios tecnológicos com o intuito de verificar os níveis de desempenho térmico, acústico e lumínico conforme a norma, durante a fase de execução dos empreendimentos que contam com o subsídio de financiamento do Governo Federal, assim como exige o atendimento à norma de desempenho para todos os projetos realizados para essas obras.

O crescente desenvolvimento da tecnologia nas últimas décadas proporcionou o aumento significativo da avaliação de desempenho térmico através do uso da simulação computacional. Os programas de simulação estão sendo empregados com maior frequência, uma vez que é possível considerar o clima da região, bem como os aspectos essenciais da construção, sendo o método mais preciso para estimar o desempenho térmico das edificações (SANTOS; PORTO; SILVA, 2020).

À vista disso, a NBR 15575, conhecida como norma de desempenho, em suas partes 1, 4 e 5, foi recentemente alterada com o intuito de aperfeiçoamento dos padrões de recomendação que a norma apresenta, principalmente para desempenho térmico, expondo uma maior aplicação dos métodos de simulação computacional para verificação dos níveis de desempenho se comparada com a versão anterior.

Diante do exposto, este trabalho busca analisar o padrão de desempenho térmico em uma HIS, segundo a NBR 15575 avaliando o empreendimento através do procedimento simplificado e do procedimento de simulação computacional, com o auxílio do *Software EnergyPlus*, para a versão 2013 e 2021 da norma de desempenho.

Para desenvolver esta pesquisa, foi selecionado uma região do país cuja zona bioclimática representasse os climas bem definidos, sendo possível observar todas as estações do ano. Desse modo, o empreendimento está localizado na cidade de Pelotas, no Rio Grande do Sul, possui 5 pavimentos em cada edifício, pertence a zona bioclimática 2 e construído em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos. A justificativa para escolha desta cidade são as oscilações de temperatura ao longo do ano, haja vista que Pelotas possui um clima subtropical úmido, com verões quentes e invernos frios. A variação climática pode criar desafios para alcance de desempenho térmico aceitáveis para a região e por conta disso, é objeto de estudo desta pesquisa.

O estudo pretende comparar as alterações da norma com relação à versão anterior e realizar medições *in loco* para verificação da temperatura de bulbo seco nos ambientes internos dos apartamentos pré-definidos para verificar se a edificação atende a classificação de desempenho. Dessa forma, a pesquisa será composta por um estudo de caso em uma construtora que executa obras exclusivamente através do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), com financiamento de recursos federais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa consiste em avaliar os impactos da revisão da NBR 15575 para os métodos de avaliação de desempenho térmico na sua aplicação para a zona bioclimática 2 em uma Habitação de Interesse Social, por meio de comparação dos procedimentos previstos na versão 2013 com relação a atualização 2021.

1.1.2 Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos, destacam-se:

- a) Verificar o possível impacto no nível de desempenho térmico por meio do novo método simplificado e do método de simulação computacional da NBR 15575:2021 com relação aos métodos de avaliação da NBR 15575:2013 para a zona bioclimática 2;
- b) Analisar as principais modificações na avaliação de desempenho térmico atingida pela revisão da NBR 15575;
- c) Avaliar por meio de medição *in loco* as temperaturas de bulbo seco internas de uma habitação multifamiliar de interesse social que será utilizada como modelo base para esta pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta o referencial teórico relativo aos conceitos básicos necessários para a compreensão deste trabalho. A seguir, serão abordados os seguintes temas: habitações de interesse social, normas e regulamentos, simulação energética e o *EnergyPlus*, componentes construtivos da envoltória e o desempenho térmico, e por fim, é apresentada uma síntese do capítulo com o intuito de resumir os principais conceitos abordados nesta pesquisa. Nesse sentido, essa sequência foi estruturada para orientar a construção do raciocínio de modo a desenvolver a base para completa compreensão do estudo desenvolvido, bem como indicar autores para o aprofundamento nos estudos dos itens citados.

2.1 HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Conforme análise recente do Ministério do Desenvolvimento do Brasil, o país possui um déficit habitacional estimado em 5,8 milhões de moradias segundo o levantamento realizado no ano de 2019 pela Fundação João Pinheiro (GALLO; LOGSDON; COSTA, 2022). De acordo com as estimativas desenvolvidas pelo órgão avaliativo, os números relativos à quantidade de brasileiros com moradia precária tendem a aumentar ao longo dos anos, sendo esse número ainda maior no ano de 2022.

A questão da problemática habitacional observada no Brasil está diretamente ligada ao processo acelerado de urbanização constado em meados do início do século XX, onde notou-se o êxodo rural responsável pela migração da população do meio rural e concentração nos locais onde viriam a ser reconhecidos os grandes centros urbanos (FERREIRA *et al.*, 2019). Dessa forma, a população carente foi quem mais percebeu os impactos desse processo, restando-lhes apenas terrenos irregulares nas periferias, distantes dos centros das metrópoles, sendo expostos a situações de risco em domicílios improvisados onde o valor de moradia é o mais barato possível, mas sem condições mínimas de habitabilidade, funcionalidade e desempenho, acarretando em diversas patologias e perigos à população usuária (GALLO; LOGSDON; COSTA, 2022).

Assim sendo, a privação de moradias para grande parte da população, em suma para os mais pobres, começou a ser visada apenas na era Vargas (1930-1945), onde foram discutidas possíveis políticas públicas que pudesse auxiliar na melhoria das habitações e incentivo à construção civil (LOBO, 2018). Dessa maneira, após validações políticas, já no governo de Eurico Gaspar Dutra, em 1º de maio de 1946, foi instituída a Fundação da Casa Popular (FCP), a qual foi o primeiro órgão de âmbito nacional que foi responsável por tratar exclusivamente de assuntos relacionados ao fornecimento de residências às populações de pequeno poder aquisitivo (AZEVEDO & ANDRADE, 2011).

Segundo Azevedo e Andrade (2011) a FCP não alcançou a notoriedade idealizada à época, tendo em vista as restrições impostas pelo modelo que por fim, não conseguiram atingir a maior parte da população que realmente necessitava do seu subsídio, mas o projeto serviu de base para a criação do Banco Nacional de Habitação (BNH). Dessa maneira, os autores apresentam em seu trabalho que com o golpe de 1964, foram criadas leis para implementação de uma nova política habitacional, expondo a criação do BNH. O BNH foi responsável pelo financiamento direto das Companhias de Habitação Popular (COHABs) que foram criadas com objetivo de construção e financiamento de imóveis para famílias com renda limitada e dentre todos os programas criados até 1986, foi o que melhor obteve êxito para entrega do proposto pelos órgãos em questão, financiando 4,8 milhões de unidades habitacionais, cerca de 25% das moradias construídas entre 1964 e 1986, sendo 20% para moradia de baixa renda (RUBIN, 2013).

De acordo com Ferreira *et al.* (2019), após um período sem subsídios vinculados ao governo federal para construções de moradias voltadas para o público de baixa renda, o governo de Luiz Inácio Lula da Silva em 2005 aprova a Lei nº 11.124 que instituiu o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS), essa lei tramitou durante 13 anos no Congresso Nacional até ser aprovada. Segundo os autores, a partir da criação da SNHIS foi implementado, em 2009, o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), o qual foi elaborado com a finalidade de aquecer a economia do país para enfrentar a crise financeira mundial que assolava o Brasil.

O PMCMV foi responsável por dar os melhores subsídios para população de baixa renda de extrema pobreza com renda familiar de 0 a 3 salários mínimos, enquadrando-se na faixa 1 do programa (ROMAGNOLI, 2012). Segundo o Relatório

de Avaliação de 2020 o PMCMV entregou mais de 5 milhões de Unidades Habitacionais (UHs), onde 1,5 milhões de unidade foram destinadas as famílias em situação de extrema pobreza, sendo o Nordeste a região mais beneficiada do país com os incentivos do governo federal (BRASIL, 2020).

Gallo, Logsdon e Costa (2022) reconhecem em seu estudo a vasta produção de unidades habitacionais do PMCMV e o atendimento efetivo as camadas mais pobres da população, mas criticam a perpetuação padronizada dos modelos avistados pelos empreendimentos que se enquadravam nesse tipo de programa, pois tentava-se resolver um problema complexo da sociedade por meio de solução única, sem levar em consideração as particularidades que cada cidade brasileira exige, afetando diretamente o desempenho das edificações.

Depois de diversas discussões acerca da qualidade de vida dos usuários das Habitações de Interesse Social (HIS), surgiram algumas melhorias legais necessárias ao processo de produção da moradia para entregar um ambiente minimamente habitável para os usuários, sendo possível citar a instituição do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais (SiNAT) e a publicação da NBR 15.575 – Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais (GALLO; LOGSDON; COSTA, 2022).

Todavia, em 2020, o governo do país aprovou uma medida que substituiu o PMCMV e criou o Programa Casa Verde e Amarela (PCVA). Desse modo, o PCVA tratou de extinguir a faixa 1 que englobava famílias com menor renda, cedia um subsídio de até 90% do valor do imóvel e não cobrava juros para o financiamento (ALMEIDA, 2021). Atualmente, com a nova substituição de governo federal, o programa voltou a ser chamado de PMCMV.

No âmbito mundial, atualmente, os países desenvolvidos costumam projetar as edificações de cunho social de modo a atender aos requisitos de sustentabilidade, tanto na idealização quanto na melhor disposição para uso dos espaços, almejando o atendimento do desempenho geral da edificação (GUARDA *et al.*, 2018). Em contrapartida, os autores destacam que os custos para projetos com maior sustentabilidade com foco no desempenho demandam um maior investimento inicial e em países em desenvolvimento como o Brasil, esse custo é ainda maior, dificultando ainda mais o planejamento de projetos que atendem as expectativas de desempenho, tendo em vista a escassez de tecnologia nacional para tal fim.

No Brasil, as HIS são planejadas para atender produções em larga escala, efetuando reaproveitamento do método construtivo para diversas construções com o intuito de aumento de produtividade, não considerando as condições climáticas da região de cada projeto (D'AVILA & GRAFF, 2020; SANTOS; PORTO; SILVA, 2020; GUARDA *et al.*, 2018). Gouveia e Spoto (2016) é de suma relevância avaliar o desempenho térmico das edificações nas HIS, para oportunizar não somente a qualidade de vida do usuário, mas também reduzir os custos com energia devido ao uso de ventiladores ou qualquer tipo de condicionamento artificial.

Entretanto, na Europa, um estudo realizado através de avaliação em campo, com monitoramento de três casos de habitações de interesse social construídas no período pós-guerra, apresentaram que os usuários dos edifícios analisados vivem em situação de desconforto térmico 100% das horas para o período de inverno, tendo em vista que a região analisada é considerada fria (ESCANDÓN; SUÁREZ; SENDRA, 2017). Segundo os autores, muitas famílias em situação de vulnerabilidade socioeconômica, se submetem a viver em condições reais de desconforto térmico devido as restrições financeiras que enfrentam.

Nessa perspectiva, os órgãos financiadores das HIS, atualmente exigem padrões mínimos que devem ser atendidos para construções dessas habitações, solicitando emprego dos níveis mínimos da norma de desempenho, para que não haja prejuízo funcional da edificação para os usuários, sendo o desafio principal atender as exigências propostas pelos órgãos competentes e manter o custo de construção reduzido (GOUVEIA & SPOTO, 2016).

2.2 NORMAS E REGULAMENTOS

2.2.1 Requisitos de Desempenho Térmico pela ABNT NBR 15575:2013

Habitualmente difundida no meio da construção civil como norma de desempenho, a NBR 15575:2013 era uma normativa que tinha a determinação de postular os requisitos para habitabilidade, segurança e sustentabilidade de uma edificação. A norma era subdividida em 6 partes – Parte 1: Requisitos Gerais, Parte 2: Sistemas Estruturais, Parte 3: Sistemas de Pisos, Parte 4: Sistemas de Vedações

Verticais Internas e Externas, Parte 5: Sistemas de Coberturas e Parte 6: Sistemas Hidrossanitários – sendo as suas partes 1, 4 e 5 fundamentais para análise de desempenho térmico das edificações.

A norma estabelecia um procedimento normativo – dividido em dois modelos avaliativos – e um procedimento informativo para avaliação do desempenho térmico das edificações. O procedimento normativo era subdividido em procedimento simplificado e de simulação computacional. Em contrapartida, havia também o procedimento informativo, que era realizado através do método de medição *in loco*, o qual será abordado neste estudo como um meio estimativo, cabendo evidenciar que a norma manifestava que esse método não era habilitado para substituir os procedimentos normativos anteriormente citados, sendo de caráter meramente informativo.

Nesse sentido, a norma trazia três níveis de desempenho térmico que as Unidades Habitacionais (UHs) poderiam alcançar, são eles: mínimo, intermediário e superior. Sendo que era de caráter obrigatório o atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos para o nível mínimo de desempenho.

Nessa perspectiva, caso a edificação avaliada não alcance o desempenho mínimo através do procedimento simplificado, deve-se obrigatoriamente avaliar o desempenho térmico da edificação pelo método de simulação computacional. Nos tópicos a seguir serão detalhados os métodos de avaliação prescritos na ABNT NBR 15575:2013.

2.2.1.1 *Procedimento Simplificado*

Para avaliação pelo método simplificado eram utilizados os requisitos constantes da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) e NBR 15575-5 (ABNT, 2013c). Assim, para ser validado o procedimento simplificado, era necessário cumprir três exigências para atingir o desempenho mínimo, sendo elas:

- 1) Apresentar transmitância térmica e capacidade térmica para as paredes externas que proporcionassem pelo menos o desempenho térmico mínimo para cada zona bioclimática brasileira, conforme a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b).

A tabela 1 apresenta os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das paredes externas. Já a tabela 2 delimita os valores mínimos admissíveis para a capacidade térmica das paredes externas. Dessa forma, o método simplificado da norma não poderia ser utilizado para alcance de desempenho intermediário ou superior.

Tabela 1 - Transmitância térmica das paredes externas

Transmitância Térmica (U) – W/m².K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

^a α é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2013b).

Tabela 2 - Capacidade térmica das paredes externas

Capacidade Térmica (CT) – kJ/m².K	
Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	Zona 8
≥ 130	Sem requisito

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2013b).

- 2) As aberturas para ventilação nas fachadas da edificação, nos ambientes de permanência prolongada, deveriam atender a um valor mínimo, indicado em porcentagem em função da área de piso. A tabela 3 apresenta a área mínima de ventilação para dormitórios e sala de estar que deveriam ser adotados quando não houvesse requisitos de ordem legal (legislação, código de obras, entre outros) para o local de implantação da obra.

Tabela 3 - Área mínima de ventilação em dormitórios e sala de estar

Nível de Desempenho	Aberturas para Ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7 Aberturas médias	Zona 8 Aberturas grandes
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área de piso	$A \geq 12\%$ da área de piso – região norte do Brasil $A \geq 8\%$ da área de piso – região nordeste e sudeste do Brasil

NOTA Nas zonas de 1 a 6, as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2013b).

- 3) Apresentar transmitância térmica e capacidade térmica para os sistemas de coberturas que proporcionassem pelo menos o desempenho térmico mínimo para cada zona bioclimática brasileira, conforme a NBR 15220-3 (ABNT, 2005c).

Tabela 4 - Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica

Transmitância Térmica (U) – W/m ² .K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 e 6		Zonas 7 e 8	
$U \leq 2,30$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3$ FT	$U \leq 1,5$ FT

α é absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura.

NOTA o fator de correção da transmitância (FT) é estabelecido na ABNT NBR 15220-3.

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2013c).

Dessa maneira, caso o desempenho térmico alcançado resultasse em um resultado insatisfatório, era necessário partir para avaliação por meio do método de simulação computacional, conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

2.2.1.2 Procedimento de Simulação Computacional

O método de simulação computacional que estava presente na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) estabelecia critérios de dados climáticos de algumas cidades brasileiras – capitais de cada estado do país – onde era apresentada características geográficas, dados para dias típicos de verão e dias típicos de inverno. Dessa forma, a normativa avaliava a edificação por meio das temperaturas extremas representativas da condição climática de cada estação. Como a norma apresentava apenas dados climáticos referentes as capitais brasileiras, era recomendado a possível utilização de arquivos climáticos gerados por instituições de reconhecida capacitação técnica, desde que esses arquivos fossem de domínio público. Nesse sentido, caso a habitação não fosse situada na capital de algum estado brasileiro, era possível utilizar os dados climáticos de uma cidade com características climáticas semelhantes, situadas na mesma zona bioclimática.

A norma de desempenho recomendava a utilização do *software EnergyPlus* para análise térmica. Dessa forma, para a geometria do modelo de simulação, era considerada a habitação como um todo, considerando cada ambiente como uma zona térmica, onde era levado em consideração a composição dos materiais para a simulação conforme as normas vigentes à época para cada propriedade térmica.

Para análise de conjuntos habitacionais de edificações térreas deveria ser selecionado uma Unidade Habitacional (UH) com o maior número de paredes expostas. Em contrapartida, para um edifício multipiso deveria ser selecionado uma UH no último pavimento, onde houvesse a incidência de cobertura exposta. Assim, era necessário simular todos os recintos da UH considerando as trocas térmicas entre os ambientes e avaliar os resultados dos ambientes de permanência prolongada (APP), sendo que a edificação analisada deveria ter a orientação solar da implantação do projeto, e a UH dessa edificação escolhida para a simulação, deveria ser a mais crítica do ponto de vista térmico.

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013a), as condições críticas do ponto de vista térmico eram:

- a) Verão: janela do APP voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte, ou então, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para oeste;

- b) Inverno: janela do APP voltada para sul e outra parede exposta voltada para leste, ou então, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para leste;
- c) Obstrução do entorno: considerar que as paredes expostas e as janelas estão desobstruídas, sem a presença de edificações ou vegetações de entorno que modifiquem a incidência de sol e/ou vento;
- d) Obstrução de elementos construtivos previstos na edificação: dispositivos de sombreamento devem ser considerados na simulação.

A absorptância à radiação solar das superfícies expostas deveria ser definida conforme a cor e as características dos sistemas de coberturas e dos sistemas de vedações verticais. Para a cobertura, o valor adotado deveria ser correspondente ao material utilizado no sistema. Já para os sistemas de vedações verticais, os valores adotados deveriam ser conforme o projeto e caso não houvesse valores declarados, deveriam ser adotado os seguintes: cor clara – $\alpha = 0,3$, cor média – $\alpha = 0,5$ e cor escura – $\alpha = 0,7$.

2.2.1.2.1 Requisitos de Desempenho no Verão

Conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), a simulação computacional para o dia típico de projeto de verão deveria apresentar condições térmicas no interior do edifício habitacional melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra. O valor máximo diário da temperatura do ar interior dos ambientes de permanência prolongada, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, equipamentos de iluminação, entre outros), deveria ser menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior.

Tabela 5 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de Desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
Mínimo	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$.	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$.
Intermediário	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2 \text{ °C})$	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 1 \text{ °C})$
Superior	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 4 \text{ °C})$	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2 \text{ °C})$

$T_{i,máx}$. é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.

$T_{e,máx}$. é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2013a).

2.2.1.2.2 Requisitos de Desempenho no Inverno

Para a simulação computacional do dia típico de projeto de inverno, a edificação deveria apresentar condições térmicas no interior do edifício habitacional melhores do que ambiente externo para as zonas bioclimáticas 1 até 5. Nas zonas 6, 7 e 8 não era preciso realizar a avaliação de desempenho térmico de projeto para inverno. Os valores mínimos diários da temperatura do ar no interior dos ambientes de permanência prolongada, no dia típico de projeto de inverno, deveriam ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3 °C, 5 °C ou 7° C, a depender do nível de desempenho desejável.

Tabela 6 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condição de inverno

Nível de Desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zona 6, 7 e 8
Mínimo	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3 \text{ °C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
Intermediário	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 5 \text{ °C})$	
Superior	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 7 \text{ °C})$	

$T_{i,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, e graus Celsius.

$T_{e,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2013a).

2.2.1.3 Procedimento de Medição *in Loco*

O procedimento de medição *in loco* era um método caracterizado como informativo, apresentado na versão 2013 da NBR 15575, e não deveria ser utilizado isoladamente, haja vista que ele não deveria sobrepor os procedimentos relativos ao método simplificado e o método de simulação computacional. A metodologia para a realização da medição *in loco* era determinada pelo Anexo A da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a). Dessa forma, recomendava-se medir a temperatura de bulbo seco no centro dos ambientes de permanência prolongada (dormitórios e sala de estar) a 1,20 m do piso.

Para efetuar a medição, era necessário avaliar a edificação conforme as condições críticas do ponto de vista térmico. Em edifícios com múltiplos andares, recomendava-se a análise do último pavimento (em contato com a cobertura).

O período de medição deveria corresponder a um dia típico de projeto de verão e de inverno, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes. A norma de desempenho, versão 2013, sugeria a avaliação de pelo menos três dias, realizando a análise dos dados do terceiro dia. Assim, segundo a norma, era importante evidenciar que o dia típico era caracterizado unicamente pelos valores de temperatura do ar exterior medidos no local, conforme as tabelas apresentadas na norma ou através dos dados climáticos da localidade em questão.

2.2.2 Requisitos de Desempenho Térmico pela ABNT NBR 15575:2021

Após anos de estudos para aperfeiçoamento da normativa, a comissão de estudos CB – 002: Comissão de Estudo de Eficiência Energética e Desempenho Térmico nas Edificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), alcançou a atualização da ABNT NBR 15575 em 2021, nos itens que tem relação à aplicação dos requisitos para o desempenho térmico das edificações, em suas partes 1, 4 e 5. Nesse sentido, diversos autores como Brito; Pires; Akutsu (2018), Chvatal (2014), Soares (2014), Sorgato *et al.* (2012) afirmaram em seus estudos que os métodos apresentados na NBR 15575 (ABNT, 2013) apresentam imprecisões para análise térmica das edificações. Soares (2014) apresenta em seu estudo importantes constatações para a zona bioclimática 2, expondo que os critérios para

atender aos níveis de desempenho necessários para essa zona brasileira eram muito abrangentes, não considerando realmente as características necessárias para atingir um bom desempenho efetivo para a região.

Nesse cenário, a norma de desempenho foi alterada, visando melhorias para análise térmica das edificações. Desse modo, a emenda inclui novos preceitos de avaliação, os quais não constavam na antiga versão, trazendo a obrigatoriedade da inserção das cargas térmicas de ocupação, iluminação artificial e equipamentos, a incorporação do uso de ventilação natural baseado nas características das janelas para cada empreendimento, e o mais importante, a realização de simulação seguindo arquivos climáticos que avaliam os requisitos durante o ano todo no empreendimento.

Assim, nota-se que a revisão da norma interrompe a verificação apenas em dias típicos de verão e de inverno – onde era considerado apenas os cenários extremos de calor e frio – e passa exigir a verificação anual, bem como o fortalecimento da avaliação através de simulação computacional e o aperfeiçoamento do método simplificado, onde a edificação é avaliada em relação aos tipos de materiais utilizados através do método de cálculo.

Nesse contexto, na versão antiga havia recomendação de apenas arquivos climáticos correspondentes as capitais dos estados do país, dificultando assim a simulação para cidades distantes dos grandes centros. Quando o projeto era modelado computacionalmente, apenas um único modelo era considerado e as temperaturas internas dos ambientes do modelo eram comparadas com a temperatura externa para avaliar qual o nível de desempenho seria atingido.

A NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho, é uma recomendação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), cuja finalidade é atender aos requisitos do usuário que irá usufruir da edificação, independente dos materiais empregados ou do sistema construtivo arbitrado. O foco da norma está diretamente voltado ao comportamento em uso da edificação e não na prescrição de como os sistemas são construídos (ABNT, 2021a).

O desempenho térmico das edificações provém diretamente dos componentes constituintes das paredes e coberturas, áreas envidraçadas e ventilação do ambiente, cargas térmicas internas como pessoas, equipamentos e iluminação, do modo como é operado o sistema de abertura da habitação e do clima do local onde está inserida (ABNT, 2021a). A norma expõe os modelos avaliativos

para verificação de desempenho térmico quando a edificação é operada sem condicionamento de ar e também possibilita a análise da carga térmica quando o ambiente é condicionado artificialmente, cabendo evidenciar que o Brasil possui climas variados e pode ser empregado a utilização de estratégias bioclimáticas capazes de reduzir o uso de condicionamento artificial em determinadas situações.

A revisão da norma alterou os itens de avaliação para o procedimento simplificado e o procedimento de simulação computacional que já constavam na versão de 2013 e retirou o método informativo de medição *in loco*. A figura 1 apresenta as principais modificações realizadas na atualização da norma de desempenho e nos tópicos 2.2.2.1 e 2.2.2.2 serão detalhadas as alterações realizadas para cada método.

Figura 1 - Principais mudanças nos métodos de avaliação realizadas na revisão da NBR 15575



Fonte: LabEEE, 2020.

Segundo Lazzarini e Hippert (2021), todas as empresas construtoras que trabalham com Habitações de Interesse Social (HIS) que possuem financiamento junto ao governo federal, precisam cumprir os critérios estabelecidos na norma em questão. De acordo com as autoras, o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) expõe a necessidade do atendimento a NBR 15575, sendo essa obrigação inserida no regimento do Sistema de Avaliação da Conformidade de Serviços e Obras (SiAC) ainda no ano de 2017 e tornando-se obrigatória no regimento de 2018. Dessa maneira, muitas empresas tiveram que se adaptar para conseguir atender aos requisitos exigidos na norma de desempenho.

2.2.2.1 Procedimento Simplificado

O procedimento simplificado avalia a edificação quanto as características das propriedades térmicas em relação aos critérios que indicam valores de referência para esses parâmetros. Assim sendo, a ABNT (2021b) apresenta os valores de referência para os Sistemas de Vedações Verticais Externas (SVVE) para transmitância térmica (U_{par}), capacidade térmica (CT_{par}), percentual de abertura para ventilação ($P_{v,APP}$), percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) e área da superfície dos elementos transparentes ($A_{t,APP}$) e a ABNT (2021c) apresenta os valores de referência para os sistemas de coberturas, considerando valores da transmitância térmica (U_{cob}).

Nessa perspectiva, o método simplificado só pode ser utilizado para análise de desempenho mínimo. Caso o projetista almeje alcançar resultados de nível intermediário e superior, deve necessariamente partir para o método de simulação computacional.

Para o método simplificado, a revisão da norma atualmente considera quatro parâmetros de verificação, sendo eles:

- 1) As paredes externas dos Ambientes de Permanência Prolongada (APP) devem possuir uma transmitância térmica (U_{par}) igual ou inferior ao valor de referência (Tabela 7) e devem possuir uma capacidade térmica (CT_{par}) igual ou superior ao valor de referência (Tabela 8);

Tabela 7 - Transmitância térmica de referência para paredes externas

Transmitância Térmica de Paredes (U_{par}) – W/m ² .K		
Zonas Bioclimáticas 1 e 2	Zonas Bioclimáticas 3 a 8	
$U_{par} \leq 2,7$	$\alpha_{par}^a \leq 0,6$	$\alpha_{par} > 0,6$
	$U_{par} \leq 3,7$	$U_{par} \leq 2,5$

^a α_{par} é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede. Recomenda-se a consideração da degradação do desempenho dessa superfície.

Os limites de α_{par} estabelecem a transmitância térmica de referência que deve ser considerada nas paredes externas.

Caso a UH possua paredes externas que apresentem valores de transmitância térmica que diferem do apresentado na tabela 7, deve-se obrigatoriamente ser realizado o procedimento de simulação computacional.

Tabela 8 - Capacidade térmica de referência de paredes externas

Capacidade Térmica de Paredes (CT_{par}) – kJ/m².K	
Zonas Bioclimáticas 1 a 7	Zona Bioclimática 8
$CT_{par} \geq 130$	Sem requisito

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2021b).

Caso a UH possua paredes externas com valores de capacidade térmica que diferem do apresentado na tabela 8, deve-se obrigatoriamente ser realizado o procedimento de simulação computacional.

Dessa forma, quando um APP possuir paredes externas com pinturas ou revestimentos externos de absorvâncias distintas, assim como paredes externas de capacidades térmicas diferentes, deve-se necessariamente se obter valores equivalentes para cada variável, conforme a equação 1 e 2 apresentadas a seguir:

$$\alpha_{par,eq} = \frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_{par,i} \cdot A_{par,sup,ext,i})}{\sum_{i=1}^n A_{par,sup,ext,i}} \quad (1)$$

Onde:

- $\alpha_{par,eq}$ é a absorvância à radiação solar equivalente da superfície externa da parede (adimensional);
- $\alpha_{par,i}$ é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede i (adimensional);
- $A_{par,sup,ext,i}$ é a área da superfície exterior da parede externa i, expressa em metros quadrados (m²);
- n é o número de segmentos da parede externa com absorvâncias distintas.

$$CT_{par,eq} = \frac{\sum_{i=1}^n (CT_{par,i} \cdot A_{par,sup,int,i})}{\sum_{i=1}^n A_{par,sup,int,i}} \quad (2)$$

Onde:

- $CT_{par,eq}$ é a capacidade térmica equivalente da parede externa, expressa em quilojoules por metro quadrado kelvin (kJ/(m².K));
- $CT_{par,i}$ é a capacidade térmica da parede externa i expressa em quilojoules por metro quadrado kelvin (kJ/(m².K));
- $A_{par,sup,int,i}$ é a área da superfície interior da parede externa i, expressa em metros quadrados (m²);
- n é o número de segmentos da parede externa com capacidades térmicas distintas.

- 2) O percentual de abertura para ventilação ($P_{V,APP}$) segue o mesmo intervalo de referência anteriormente considerado na NBR 15575 (ABNT, 2013b). A tabela 9 relembra esse percentual de abertura de referência para ventilação.

Tabela 9 - Percentual de abertura de referência para ventilação

Percentual de Abertura para Ventilação ($P_{V,APP}$) %		
ZB ^a 1 a 7	ZB 8 – Região Norte do Brasil	ZB 8 – Regiões Nordeste e Sudeste do Brasil
$P_{V,APP} \geq 7,0\%$ da área do piso	$P_{V,APP} \geq 12,0\%$ da área do piso	$P_{V,APP} \geq 8,0\%$ da área do piso

^a ZB é a zona bioclimática brasileira.

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2021b).

A norma apresenta um cálculo do percentual de abertura para ventilação, conforme a equação 3:

$$P_{V,APP} = 100 \cdot \frac{A_{V,APP}}{A_{p,APP}} \quad (3)$$

Onde:

$P_{V,APP}$ é o percentual de abertura para ventilação do APP, expresso em porcentagem (%);

$A_{V,APP}$ é a área efetiva de abertura para ventilação do APP, expressa em metros quadrados (m²);

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

Compete evidenciar, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2021b) que para o cálculo da área efetiva de abertura para ventilação do APP, devem ser descontadas as áreas de perfis, vidros e de qualquer outro obstáculo, considerando apenas as áreas que permitam a livre circulação de ar, não considerando as áreas das portas internas nesse cálculo.

- 3) O percentual de elementos transparentes ou área de superfície dos elementos transparentes devem atender aos limites de referência expostos na NBR 15575 (ABNT, 2021b), conforme tabela 10. Este é um novo critério de avaliação inserido na revisão onde se estabelece a relação proporcional entre a área limite de elementos transparentes e a área de piso dos APP, variando conforme o sombreamento horizontal, o fator solar do vidro e classificação da esquadria.

Tabela 10 - Proporção de referência dos elementos transparentes

Percentual de Elementos Transparentes ($P_{t,APP}$) %	Área de Superfície dos Elementos Transparentes ($A_{t,APP}$) m ²
$A_{p,APP} \leq 20,0 \text{ m}^2$	$A_{p,APP} > 20,0 \text{ m}^2$
$P_{t,APP} \leq 20 \%$	$A_{t,APP} \leq 4,0 \text{ m}^2$

Unidades habitacionais com APP com valores que ultrapassam os limites apresentados devem ser avaliados por simulação computacional. Exceto se considerarem vidros de alto desempenho ou elementos de sombreamento horizontal.

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2021b).

Nesse sentido, o cálculo do percentual de elementos transparentes é dado pela equação 4:

$$P_{t,APP} = 100 \cdot \frac{A_{t,APP}}{A_{p,APP}} \quad (4)$$

Onde:

$P_{t,APP}$ é o percentual de elementos transparentes do APP, expresso em porcentagem (%);

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

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

- 4) Para os sistemas de coberturas dos APP, a transmitância térmica (U_{cob}) deve possuir valor igual ou inferior ao valor de referência (Tabela 11).

Tabela 11 - Transmitância térmica de referência para coberturas

Transmitância Térmica de Coberturas (U_{cob}) – W/m ² .K				
Zonas Bioclimáticas 1 e 2	Zonas Bioclimáticas 3 e 6		Zonas Bioclimáticas 7 e 8	
$U \leq 2,30$	$\alpha_{cob}^a \leq 0,6$	$\alpha_{cob} > 0,6$	$\alpha_{cob} \leq 0,4$	$\alpha_{cob} > 0,4$
	$U_{cob} \leq 2,3$	$U_{cob} \leq 1,5$	$U_{cob} \leq 2,3 FT$	$U_{cob} \leq 1,5 FT$

^a α_{cob} é absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura. Recomenda-se a consideração da degradação do desempenho desta superfície.

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2021c).

Conforme a norma de desempenho, para as zonas bioclimáticas 7 e 8 há um fator de correção de transmitância (FT), descrito pela equação 5:

$$FT = 1,17 - 1,07 \cdot h^{-1,04} \quad (5)$$

Onde:

FT é o fator de correção da transmitância aceitável para as coberturas (adimensional);

h é a altura da abertura em dois beirais opostos, expressa em centímetros (cm).

Dessa forma, quando um APP possuir coberturas com transmitâncias térmicas diferentes, deve-se necessariamente se obter valores equivalentes para cada variável, conforme a equação 6 apresentadas a seguir:

$$U_{cob,eq} = \frac{\sum_{i=1}^n (U_{cob,i} \cdot A_{cob,proj,i})}{\sum_{i=1}^n A_{cob,proj,i}} \quad (6)$$

Onde:

- $U_{cob,eq}$ é a transmitância térmica equivalente da cobertura, expressa em watts por metro quadrado kelvin (W/(m².K));
- $U_{cob,i}$ é a transmitância térmica da cobertura i, expressa em watts por metro quadrado kelvin (W/(m².K));
- $A_{cob,proj,i}$ é a área da projeção horizontal da cobertura i, expressa em metros quadrados (m²);
- n é o número de segmentos da cobertura com transmitâncias térmicas distintas.

De forma análoga, quando um APP possuir coberturas com pinturas ou telhas de absortâncias distintas, deve-se necessariamente se obter valores equivalentes para cada variável, conforme a equação 07 apresentadas a seguir:

$$\alpha_{cob,eq} = \frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_{cob,i} \cdot A_{cob,sup,ext,i})}{\sum_{i=1}^n A_{cob,sup,ext,i}} \quad (7)$$

Onde:

- $\alpha_{cob,eq}$ é a absortância à radiação solar equivalente da superfície externa da cobertura (adimensional);

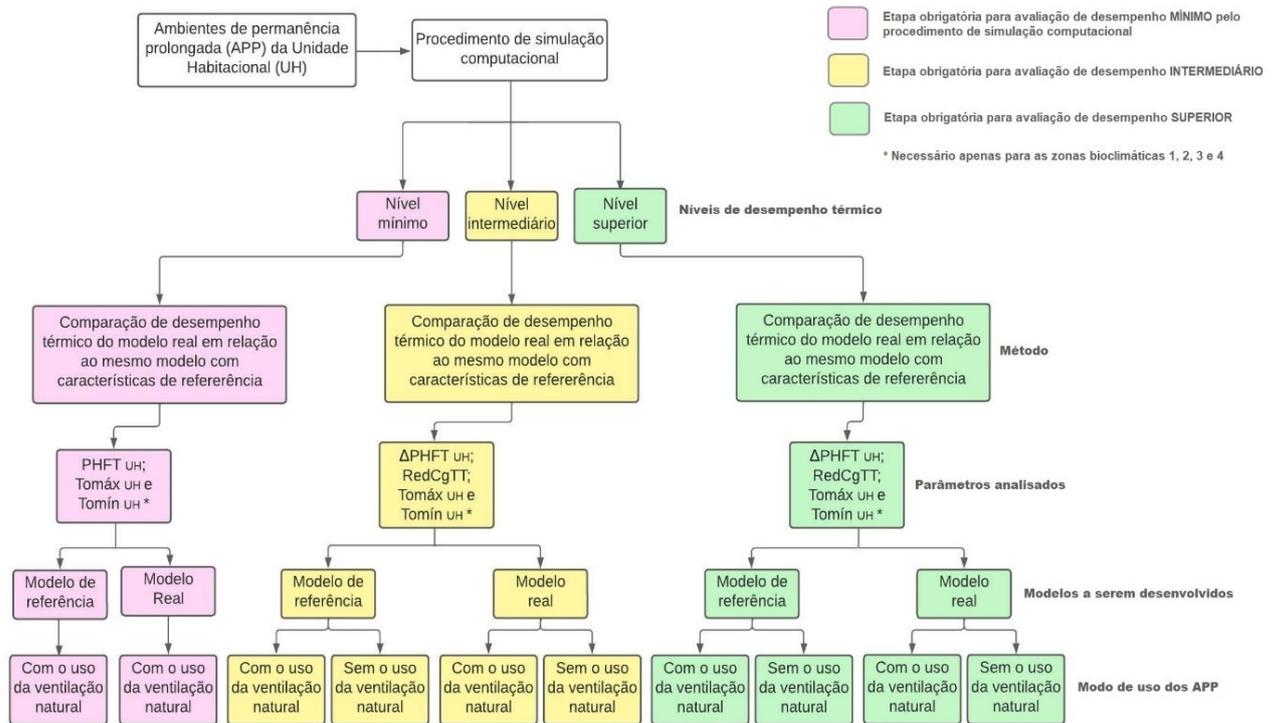
- $\alpha_{cob,i}$ é a absorptância à radiação solar da superfície externa da cobertura i (adimensional);
- $A_{cob,sup,ext,i}$ é a área da superfície exterior da cobertura i , expressa em metros quadrados (m^2);
- n é o número de segmentos da cobertura com absorptâncias distintas.

2.2.2.2 *Procedimento de Simulação Computacional*

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021a), o procedimento de simulação computacional avalia o desempenho térmico anual da envoltória da edificação em relação a esta envoltória com as características de referência. Para avaliação desse procedimento devem ser elaborados dois modelos, sendo um deles o modelo real e o outro o modelo de referência.

Dessa forma, para avaliar em termos de atendimento ao nível mínimo de desempenho, os modelos real e de referência devem ser simulados levando em consideração somente o uso de ventilação natural nos Ambientes de Permanência Prolongada (APPs). Em contrapartida, para alcance dos níveis intermediário e superior, os modelos de referência e o real devem ser simulados com o uso de ventilação natural e sem o uso de ventilação natural. A figura 2 apresenta o esquema de avaliação para atendimento aos níveis de desempenho da norma.

Figura 2 - Esquema para avaliação de desempenho por simulação da NBR 15575



Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2021a).

Nessa perspectiva, a partir da simulação considerando o uso da ventilação natural, devem ser determinados os seguintes itens, conforme a ABNT (2021a):

- o percentual de horas de ocupação dos APP dentro de uma faixa de temperatura operativa ($PHFT_{APP}$). A faixa de temperatura operativa varia conforme o clima local;
- a temperatura operativa anual máxima para os APPs ($Tomáx_{APP}$), considerando apenas os intervalos de ocupação desses locais. Para edificações localizadas nas zonas bioclimáticas 1, 2, 3 ou 4 deve ser determinado também a temperatura operativa anual mínima ($Tomín_{APP}$).

Desse modo, para avaliar o nível de desempenho mínimo – de caráter obrigatório – deve-se verificar o Percentual de Horas de Ocupação dentro de uma Faixa de Temperatura Operativa da Unidade Habitacional ($PHFT_{UH}$), a Temperatura Operativa Anual Máxima ($Tomáx_{UH}$), bem como a Temperatura Operativa Anual Mínima ($Tomín_{UH}$) para as zonas bioclimáticas 1, 2, 3 e 4 comparando os valores do modelo real em relação ao modelo de referência sendo necessário que o $PHFT_{UH}$ do modelo real seja superior a 90% do $PHFT_{UH}$ obtido do modelo de referência.

Em contrapartida, para alcance dos níveis de desempenho intermediário e superior, torna-se obrigatório a realização de simulação que considera o uso da edificação sem a utilização de ventilação natural. Nesse caso, deve-se determinar o somatório anual dos valores horários da carga térmica de refrigeração ($CgTR_{APP}$), bem como o somatório anual dos valores horários da carga térmica de aquecimento ($CgTA_{APP}$). Compete evidenciar que a variável $CgTA_{APP}$ somente é necessária quando avaliada em climas que possuam média anual da temperatura externa de bulbo seco inferior a 25°C. Assim, a partir dos valores de $CgTR_{APP}$ e $CgTA_{APP}$ para cada APP, deve-se determinar o somatório anual dos valores horários da UH ($CgTT_{UH}$).

A NBR 15575 (ABNT, 2021a) delimita que o programa para simulação computacional deve ser capaz de estimar as variações de temperatura operativa, das cargas térmicas de refrigeração e de aquecimento, assim como o uso da ventilação natural, definidos de forma separada em 8.760 horas ao longo do ano, levando em consideração as variações horárias de ocupação, de potência de iluminação e de equipamentos. Dessa maneira, o arquivo climático deve possuir informações que sejam representativas do clima da cidade onde a UH está localizada e recomenda-se a utilização dos arquivos climáticos provenientes da base-padrão que a TR 15575-1 (ABNT, 2021d) apresenta. Assim sendo, os arquivos climáticos propostos no termo de referência são provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para realizar a avaliação dos critérios necessários para verificação de desempenho, deve atentar-se aos intervalos correspondentes às temperaturas externas para avaliação da envoltória. O intervalo a ser considerado depende do clima da região de análise, onde é verificado a temperatura externa de bulbo seco (TBS_m) do arquivo climático utilizado, adotando o arredondamento de uma casa decimal após a vírgula para o valor da variável. A tabela 12 apresenta os intervalos de temperaturas externas de bulbo seco.

Tabela 12 - Intervalos de temperaturas externas de bulbo seco

Intervalo de temperaturas externas	Média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBS_m) °C
Intervalo 1	TBS _m < 25,0 °C
Intervalo 2	25,0 °C ≤ TBS _m < 27,0 °C
Intervalo 3	TBS _m ≥ 27,0 °C

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2021a).

Para realizar a conferência do item que corresponde ao percentual de horas de ocupação da UH dentro de uma faixa de temperatura operativa (PHFT_{UH}), avalia-se cada APP de forma individual durante o seu respectivo período de ocupação, conforme as faixas de temperaturas operativas. As faixas de temperaturas operativas estão descritas na tabela 13.

Tabela 13 - Faixas de temperaturas operativas para a determinação do PHFT_{APP}

Intervalo de temperaturas externas	Média anual da temperatura operativa a ser considerada
Intervalo 1	18,0 °C < TO _{APP} ^a < 26,0 °C
Intervalo 2	TO _{APP} < 28,0 °C
Intervalo 3	TO _{APP} < 30,0 °C

^a TO_{APP} é a temperatura operativa do APP, que atende aos limites estabelecidos nesta tabela.

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2021a).

Para avaliação do critério de PHFT_{UH}, deve-se comparar os valores obtidos através da simulação computacional do modelo real da edificação com os valores obtidos pelo modelo de referência, conforme a tabela 14.

Tabela 14 - Critério de avaliação de desempenho térmico da envoltória a quanto ao $PHFT_{UH}$

Nível de desempenho	Critério
Mínimo (M)	$PHFT_{UH,real} > 0,9.PHFT_{UH,ref}$
Intermediário (I)	$\Delta PHFT^a \geq \Delta PHFT_{mín}^b$
Superior (S)	$\Delta PHFT \geq \Delta PHFT_{mín}$

^a $\Delta PHFT$ é o incremento do $PHFT_{UH,real}$ em relação ao $PHFT_{UH,ref}$.

^b $\Delta PHFT_{mín}$ é o incremento mínimo do $PHFT_{UH,real}$ em relação ao $PHFT_{UH,ref}$, onde há valores específicos explicitados na norma para cada nível de desempenho.

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2021a).

Outro critério de avaliação para efetuar a simulação computacional é a avaliação das temperaturas operativas anuais máxima e mínima da UH, considerando os períodos de ocupação dos APP. Dessa forma, para todas as zonas bioclimáticas, bem como para alcance de todos os níveis de desempenho, deve ser obtida a temperatura operativa máxima anual ($Tomáx_{UH}$) conforme a equação 8:

$$Tomáx_{UH,real} \leq Tomáx_{UH,ref} - \Delta Tomáx \quad (8)$$

Onde:

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

$Tomáx_{UH,ref}$ é a temperatura operativa anual máxima da UH no modelo de referência, expressa em graus Celsius (°C);

$\Delta Tomáx$ é o valor de tolerância da temperatura operativa anual máxima, expressa em graus Celsius (°C).

Para edificações que possuam mais de um pavimento, deve-se considerar no pavimento de cobertura uma $\Delta T_{om\acute{a}x}$ de 2 °C e no restante dos pavimentos (incluindo térreo), deve-se adotar uma $\Delta T_{om\acute{a}x}$ de 1 °C.

A temperatura operativa anual mínima para a UH ($T_{om\acute{i}n_{UH}}$) é calculada apenas para algumas zonas bioclimáticas, sendo elas: 1, 2, 3 e 4, levando em consideração que a $\Delta T_{om\acute{i}n}$ deve ser igual a 1 °C para todas as UH avaliadas. A equação 9 descreve qual o critério para sua avaliação.

$$T_{om\acute{i}n_{UH,real}} \geq T_{om\acute{i}n_{UH,ref}} - \Delta T_{om\acute{i}n} \quad (9)$$

Onde:

- $T_{om\acute{i}n_{UH,real}}$ é a temperatura operativa anual mínima da UH no modelo real, expressa em graus Celsius (°C);
- $T_{om\acute{i}n_{UH,ref}}$ é a temperatura operativa anual mínima da UH no modelo de referência, expressa em graus Celsius (°C);
- $\Delta T_{om\acute{i}n}$ é o valor de tolerância da temperatura operativa anual mínima, expressa em graus Celsius (°C).

Por fim, o último critério avaliado é o item de carga térmica total da UH ($CgTT_{UH}$). Para análise do modelo de simulação sem ventilação natural, para os períodos onde os APP do modelo com o uso da ventilação natural estiverem ocupados e com temperaturas operativas dentro dos limites determinados, para cargas térmicas de resfriamento ($CgTR_{APP}$) e cargas térmicas de aquecimento ($CgTA_{APP}$), conforme a tabela 15.

Tabela 15 - Valores de temperatura operativa para o cálculo da $CgTR_{APP}$ e $CgTA_{APP}$.

Intervalos de temperaturas externas	Faixa de temperatura operativa para o cálculo da $CgTR_{APP}$	Faixa de temperatura operativa para o cálculo da $CgTA_{APP}$
Intervalo 1	$T_{OAPP}^a \geq 26,0^\circ\text{C}$	$T_{OAPP} \leq 18,0^\circ\text{C}$
Intervalo 2	$T_{OAPP} \geq 28,0^\circ\text{C}$	Não considera
Intervalo 3	$T_{OAPP} \geq 30,0^\circ\text{C}$	Não considera

^a T_{OAPP} é a temperatura operativa do APP considerada para o cálculo da $CgTR_{APP}$ e $CgTA_{APP}$.

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2021a).

Dessa forma, para análise dos níveis intermediário e superior, é considerado um percentual mínimo de redução $RedCgTT_{\min}$ que compara o percentual de redução $CgTT_{UH,real}$ com relação ao $CgTT_{UH,ref}$ (Tabela 16).

Tabela 16 - Critério de avaliação de desempenho térmico da envoltória quanto à $CgTT_{UH}$

Nível de desempenho	Critério
Mínimo (M)	Não considera
Intermediário (I)	$RedCgTT^a \geq RedCgTT_{\min}^b$
Superior (S)	$RedCgTT \geq RedCgTT_{\min}$

^a $RedCgTT$ é a redução da carga térmica total do modelo real ($CgTT_{UH,real}$) em relação à referência ($CgTT_{UH,ref}$).

^b $RedCgTT_{\min}$ é a redução mínima da $CgTT_{UH,real}$ em relação à referência ($CgTT_{UH,ref}$), com valor através de tabelas pré-definidas para cada nível de desempenho da NBR 15575.

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2021a).

2.2.3 ABNT NBR 15220:2005 e o Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Com o intuito de aprimorar as avaliações de desempenho térmico nas edificações, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou em 2005 a NBR 15220 (ABNT, 2005). A norma em questão foi a precursora nos estudos de desempenho térmico no Brasil, sendo a primeira norma publicada nesse quesito.

A ABNT dividiu a norma em cinco partes, onde apresenta definições, métodos de cálculo de componentes e elementos construtivos, zoneamento bioclimático, método de cálculo para resistência térmica e condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida e medição da resistência térmica e condutividade térmica pelo método fluximétrico.

2.2.3.1 *Zoneamento Bioclimático*

O Brasil apresenta uma ampla variedade de soluções bioclimáticas, tendo em vista o seu amplo território e a grande diversidade climática, apresentando condições quentes, úmidas, áridas e temperadas (CALAZANS, 2016). A Parte 3 da norma apresenta de modo detalhado o zoneamento bioclimático brasileiro (Figura 3), dividindo oito zonas bioclimáticas o território brasileiro, conforme adaptação da carta bioclimática de Givoni. A norma também apresenta parâmetros e condições de contorno, formulando diretrizes construtivas para cada região para estabelecimento de estratégias de condicionamento térmico passivo com base nos parâmetros de tamanho das aberturas e ventilação, proteção das aberturas e vedações externas.

A NBR 15220-1 (ABNT, 2005a) define zona bioclimática como a região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano. Conforme o Manual Selo Casa Azul Caixa (2010), a distribuição das zonas bioclimáticas foi designada em função das características de temperatura, umidade e altitude das cidades. Segundo o manual, caso não haja arquivo climático da cidade avaliada, deve-se utilizar a cidade mais próxima que possua os mesmos aspectos da cidade em questão.

O Manual Selo Casa Azul Caixa (2010) ainda concede uma abordagem descritiva das oito zonas bioclimáticas que retrata da seguinte maneira o zoneamento: a zona bioclimática 1 engloba climas mais frios, com invernos mais

acentuados e maior necessidade de aquecimento, sendo notada no sul do país. A zona bioclimática 2 e 3 aborda as regiões sul e sudeste do Brasil, onde é possível verificar verões e invernos com temperaturas bem definidas. Já as zonas 4, 5 e 6 também apresentam temperaturas de verão e inverno bem definidas, porém o pico entre as temperaturas mínimas e máximas é bem menos acentuado. Assim sendo, a zona 4 ainda necessita de aquecimento solar passivo, enquanto nas zonas 5 e 6 esse tipo de conduta não é mais primordial. Por fim, as zonas bioclimáticas 7 e 8, encontram-se nas regiões norte e nordeste do Brasil, que possuem temperaturas mais elevadas e apresentam necessidade de estratégias bioclimáticas somente para o verão durante o ano todo.

Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro baseado na NBR 15220



Fonte: Selo Casa Azul (2010).

Esta pesquisa aborda a zona bioclimática 2 como objeto de estudo. Russi *et al.* (2012) apresentam em seu estudo a dificuldade de trabalhar com as zonas bioclimáticas 1, 2 e 3, haja vista que essas três zonas possuem uma complexidade muito grande para alcance dos índices de conforto térmico, uma vez que devem atender aos dois extremos climáticos (verão e inverno) que essas zonas expressam no decorrer de cada ano. Os autores ainda declaram que essas zonas bioclimáticas possuem as estações bem definidas, possuindo altos índices de umidade do ar e entradas de frentes frias em determinados momentos do ano.

De acordo com Soares (2014), o inverno na zona bioclimática 2 registra temperaturas abaixo de zero, ocasionando em períodos de geada, sendo possível observar até neve em algumas regiões. Segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005), o Rio Grande do Sul é composto por 3 zonas bioclimáticas, sendo elas: zona bioclimática 1, zona bioclimática 2 e zona bioclimática 3. A zona bioclimática de maior predominância no estado é a 2, sendo notório a necessidade de estudos relacionados para entender as demandas bioclimáticas para o estado.

Concentrar-se no estudo da zona bioclimática 2 é de enorme relevância para melhoria das estratégias bioclimáticas para a região, evidenciando esclarecer os principais obstáculos para projetar edificações com desempenho adequado e que atenda os critérios da zona.

Compete evidenciar que a NBR 15220 (ABNT, 2005), desde 2021, está em fase de revisão pela comissão de estudos da ABNT e em breve será publicada uma nova versão com atualizações do zoneamento bioclimático, onde existirá uma nova divisão das regiões, almejando-se a melhor disposição das cidades que se encontram na mesma zona.

Conforme as últimas reuniões do GT Zoneamento Climático – grupo de debate responsável por abordar os assuntos relacionados a nova divisão das zonas bioclimáticas – o zoneamento da região de Pelotas tende a não sofrer modificações, continuando situado na zona bioclimática 2, a qual é uma região que continua denominada nos estudos como fria. A proposta de alteração que o grupo está estudando atualmente encontra-se na versão 8 e redistribui as zonas da seguinte forma:

- Zona 1: muito frio
- Zona 2: frio
- Zona 3: misto
- Zona 4: levemente quente
- Zona 5: quente
- Zona 6: muito quente

Cada Zona Bioclimática (ZB) será dividida em subzonas, totalizando 12 zonas bioclimáticas conforme a tabela 17:

Tabela 17 - Nova proposta para o Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Zona Bioclimática	Detalhamento
Zona Bioclimática 1 – Muito fria	ZB 1R – Muito fria com inverno rigoroso
	ZB 1M – Muito fria com inverno moderado
Zona Bioclimática 2 – Fria	ZB 2R – Fria com inverno rigoroso
	ZB 2M – Fria com inverno moderado
Zona Bioclimática 3 – Mista	ZB 3A – Mista e úmida
	ZB 3B – Mista e seca
Zona Bioclimática 4 – Levemente quente	ZB 4A – Levemente quente e úmida
	ZB 4B – Levemente quente e seca
Zona Bioclimática 5 – Quente	ZB 5A – Quente e úmida
	ZB 5B – Quente e seca
Zona Bioclimática 6 – Muito quente	ZB 6A – Muito quente e úmida
	ZB 6B – Muito quente e seca

Fonte: ABNT CB-002.

O grupo de estudos é composto por representantes de diversas universidades do país, onde cada universidade apresentou sua perspectiva para debate e posterior padronização do modelo. O modelo com a nova divisão está prestes a ser apresentado como proposta pelo comitê de estudos da ABNT.

2.3 SIMULAÇÃO ENERGÉTICA E O *ENERGYPLUS*

O avanço tecnológico recente impulsionou o aumento da avaliação do desempenho térmico por meio da simulação computacional. Um software amplamente empregado para simulação de eficiência energética é o *EnergyPlus*, que realiza análises de conforto térmico e eficiência energética (SOUSA, 2012). De acordo com Turcatto (2017), o *EnergyPlus* é gratuito e é fornecido pelo *Department of Energy* (DOE) dos Estados Unidos, sendo desenvolvido para simular a carga térmica e energética de edifícios, e é amplamente utilizado no país.

Conforme o relatório técnico TR 15575-1-1 (ABNT, 2021d), o clima caracteriza um dos condicionantes com maior relevância no procedimento avaliativo de desempenho térmico de edificações, podendo dificultar o emprego de determinadas soluções arbitradas durante a fase de projeto. Desse modo, torna-se fundamental a escolha de arquivos climáticos adequados para o procedimento de simulação computacional.

Destaca-se ainda que o TR 15575-1-1 (ABNT, 2021d) recomenda o emprego de arquivos climáticos da base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), coletada entre os anos de 2001 a 2010, pois é uma base-padrão abrangente, caracterizada como robusta e de qualidade conhecida. Segundo o relatório técnico, recomenda-se essa utilização porque foi realizado um processo de aquisição de dados confiáveis para simulação computacional. Assim sendo, o TR 15575-1-1 (ABNT, 2021d) também cita a utilização do *software EnergyPlus* como sendo um exemplo de produto adequado comercialmente disponível para a simulação computacional, sendo cedida essa informação para facilitar o procedimento de simulação aos usuários.

Barbosa e Ghisi (2017) afirmam em seu trabalho que as simulações computacionais permitem analisar o comportamento térmico e energético das edificações, expondo que é fundamental a escolha correta dos dados de entrada nos modelos computacionais para evitar possíveis simplificações e imprecisões nos resultados gerados. Os autores destacam que realizar a calibração do modelo de simulação, auxilia na conquista de resultados mais confiáveis e que representam de modo realista a edificação. Assim, o estudo dos autores realizou o monitoramento *in loco* durante um mês em uma edificação residencial, localizada em Goiânia – Goiás, empregando o equipamento HOB0 para leitura dos dados de temperatura do ar e

posteriormente utilizou o *Software EnergyPlus* para simulação e calibração do modelo analisado. Foram modificadas 5 variáveis no modelo de referência, sendo elas: geometria da cobertura, entorno, absorvância dos materiais, resistência térmica dos materiais e infiltração do ar. Para verificação de qual variável era mais influente para o modelo de calibração, foram comparados o erro quadrático médio, desvio médio, amplitude térmica e a correlação entre os valores de temperatura do ar simulada e monitorada. Para o estudo abordado, o parâmetro mais influente na calibração foi a correta definição do entorno para o modelo.

Araújo; Scalco; Batista (2020) realizaram um estudo relacionado à calibração de um modelo computacional para análise de desempenho térmico, onde apresentam que o processo de simulação envolve muitas incertezas, sendo uma atividade complexa devido ao grande número de variáveis. Nessa perspectiva, os autores afirmam que a calibração é indicada como uma forma de gerar maior confiabilidade aos modelos, havendo poucos estudos que realizam calibrações para análise do modelo. Os autores monitoraram em sua pesquisa a temperatura do ar em situação de infiltração e com ventilação natural em salas de aula em Maceió – Alagoas, resultando em calibrações com desvios médios de $0,71^{\circ}\text{C}$ e soma dos erros quadráticos de $3,64^{\circ}\text{C}$, sendo as diferenças entre a temperatura monitorada e a simulada em média $0,7^{\circ}\text{C}$. Dessa forma, o estudo dos autores indica o acerto do modelo calibrado que obteve desvios inferiores a precisão dos *Data Loggers* usados no monitoramento *in loco*.

2.4 COMPONENTES CONSTRUTIVOS DA ENVOLTÓRIA E O DESEMPENHO TÉRMICO

2.4.1 Vedações Verticais

A avaliação de desempenho de sistemas construtivos tem sido amplamente discutida no setor de construção civil, onde é observada uma determinada recorrência de sistemas de vedações verticais padronizados, sendo comumente utilizados os sistemas construtivos compostos por alvenaria de blocos cerâmicos, alvenaria de blocos de concreto, paredes de concreto moldadas *in loco* e *steel framing* (CALDAS & CARVALHO, 2018). Nessa perspectiva, os autores afirmam que desde a elaboração da NBR 15575 diversos setores da construção civil têm despertado interesse na temática e citam a avaliação de desempenho dos sistemas construtivos como uma etapa fundamental na fase de projeto.

É notória a evolução das técnicas construtivas para melhoria do desempenho térmico das edificações, almejando solucionar os problemas advindos das habitações de interesse social (HIS), que antigamente ocasionavam diversos desconfortos aos usuários devido ao sistema de isolamento proposto, observando nas últimas décadas uma mudança nos paradigmas de escolhas de materiais e técnicas para modelos de vedações em blocos cerâmicos, blocos de concreto ou sistemas de concreto armado (OLIVEIRA; OMENA; BRITO, 2022).

Segundo Caldas e Carvalho (2018), a envoltória deve receber atenção específica do projetista durante a fase de projeto para acrescentar bons níveis de desempenho aspirando atingir os níveis representativos da NBR 15575 de habitabilidade, sustentabilidade e segurança, cabendo ao projetista prezar pelas melhores soluções técnicas e materiais construtivos que visem o desempenho térmico, acústico e lumínico.

Nesse sentido, a envoltória composta pelas paredes, cobertura e pisos auxilia no controle do fluxo solar e térmico, colaborando para a redução dos efeitos relacionados as intempéries nas edificações, servindo de proteção para o usuário da edificação, bem como protegendo o interior do ambiente de tal forma que melhora os níveis de conforto (IWARO & MWASHA, 2013).

As variáveis arquitetônicas contribuem diretamente para a melhoria no desempenho térmico e energético das edificações devendo ser aplicados a cada tipo

de construção os recursos adequados para cada clima, adotando soluções que estejam em concordância com o padrão da edificação, destacando-se a importância pelo planejamento e busca de respostas viáveis para cada tipo de edificação (ARANTES, 2013).

De acordo com Oliveira; Omena; Brito (2022), a vedação é um elemento construtivo de demasiada relevância para o desempenho térmico de uma edificação, por isso é necessário que os sistemas construtivos sejam estudados de modo detalhado os materiais constituintes de um modelo já que irão interferir diretamente no conforto térmico dos indivíduos da habitação.

Sacht e Rossignolo (2009) apresentaram em seu trabalho um estudo comparativo entre sistemas de alvenaria cerâmica e de concreto para HIS, para todas as zonas bioclimáticas do país, onde o sistema de alvenaria de blocos cerâmicos expôs um resultado melhor de desempenho térmico.

Turczyn e Neves (2019) adotaram um sistema convencional de alvenaria de blocos cerâmicos para a simulação base de seu estudo e resolveram analisar o impacto nos índices de conforto térmico ao realizar a troca do sistema de vedação vertical por uma parede dupla de tijolos com a mesma composição de revestimentos do caso base. Os autores notaram que, mesmo mantendo o mesmo modelo de bloco cerâmico para realizar a parede dupla, houve um aumento total no desconforto térmico em graus-hora de 2%, não sendo eficaz a estratégia adotada pelos autores que tinham o intuito de diminuir o desconforto térmico. Dessa forma, para avaliar o conforto térmico, no estudo, foi utilizado o método adaptativo da ASHRAE 55 em simultâneo com as simulações desenvolvidas no programa *EnergyPlus* comprovou ser um método útil para análise da eficiência térmica do projeto, bem como direcionar o estudo e a escolha de materiais de construção e de estratégias passivas de conforto. Os autores analisaram os valores de resfriamento e aquecimento separadamente para cada caso e houve um aumento de 2,6% da quantidade de graus-hora de resfriamento e uma redução de 5,5% de graus-hora de aquecimento, já que a diminuição da transmitância térmica e o aumento da capacidade térmica das paredes internas resultaram em uma baixa troca de calor entre os ambientes, além de uma transferência mais lenta, retendo mais calor dentro da sala.

Santos *et al.* (2015) realizaram um estudo de caso em São Leopoldo – Rio Grande do Sul, na zona bioclimática 2, onde efetuaram uma avaliação comparativa entre blocos cerâmicos e de concreto para avaliar o comportamento térmico, a partir

de medições de temperaturas externas e internas em duas edificações, onde o diferencial construtivo era apenas o tipo de bloco estrutural utilizado no sistema de vedação vertical. Desse modo, segundo os autores, as medições foram realizadas em dois períodos distintos (verão e inverno) e foram utilizados registradores de temperatura, instalados na cobertura e no segundo pavimento de cada edifício, posicionados em ambientes com diferentes posições solares. O valor médio mínimo e médio máximo para temperatura externa foi de 6,4 °C e 17,3 °C, respectivamente no período de inverno, e, para o período de verão, o valor de temperatura média mínima foi de 20,3 °C e temperatura média máxima de 38,1 °C. Assim sendo, para o empreendimento composto de blocos cerâmicos, no período de inverno, a temperatura média mínima foi de 11,3 °C e a média máxima foi de 15,1 °C e para o verão, o valor médio mínimo foi de 26 °C e média máxima 30,8 °C. Já os valores alcançados pelo bloco de concreto para o inverno possuíram temperatura média mínima de 11,5 °C e média máxima de 15,5 °C e na estação de verão foi temperatura média mínima de 26,2 °C e temperatura média máxima de 30,1 °C. A pesquisa realizou a análise das propriedades térmicas dos fechamentos verticais executados com os dois tipos de bloco e comparado com as normas NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013), os valores alcançados pelo sistema de vedação composto por blocos cerâmicos apresentou valor de atraso térmico superior ao apresentado na NBR 15220 (ABNT, 2005), enquanto o fechamento com bloco de concreto apresentou o valor de transmitância térmica superior ao limite estabelecido pela NBR 15575 (ABNT, 2013), não atingindo o desempenho mínimo estabelecido pelo método simplificado da norma. Assim, de acordo com os autores, ambos os blocos possuem obstáculos para atendimento adequado da zona bioclimática 2.

Dessa forma, Oliveira (2012) evidencia em seu estudo a dificuldade para utilizar os limites de atraso térmico da NBR 15220 (ABNT, 2005) pra a zona bioclimática 2, tendo em vista que os valores não apresentam a realidade em que a região se encontra, tornando-se praticamente insignificante utilizar esse indicador para a zona em questão.

Lopes (2009) avaliou o desempenho térmico de uma edificação multifamiliar de interesse social, construída em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos na cidade de Joinville – Santa Catarina, onde a verificação foi realizada através do processo de medição *in loco*, monitorando dois apartamentos do empreendimento em questão escolhidos por amostragem para representar casos extremos de

condições térmicas. O autor empregou *Data Loggers* modelo HOBO instalados nos apartamentos arbitrados – um no 4º pavimento, sendo o pavimento de cobertura e outro no térreo – e na área externa do condomínio. Dessa forma, as informações principais para avaliação do desempenho térmico da edificação foram obtidas com as medições de Temperatura de Bulbo Seco (TBS) do ar. Assim sendo, para o monitoramento realizado na semana quente a temperatura máxima externa foi de 34,85 °C e a temperatura mínima foi de 22,09 °C, alcançando uma temperatura média de 26,34 °C. Assim, para os dois apartamentos monitorados, a média das temperaturas apresentaram valores superiores em relação ao ambiente externo, sendo que na sala de estar o valor foi maior com cerca 27,45 °C (bloco 04, 404) e 27,54 °C (bloco 06, 101) e no dormitório 26,26 °C (bloco 04, 404) e 25,96 °C (bloco 06, 101). Em contrapartida, para o período de inverno a temperatura externa máxima foi de 20,19 °C, possuindo temperatura mínima de 7,83 °C e temperatura média de 15,53 °C, onde a temperatura média interna foi superior, sendo 18,38 °C na sala de estar e 17,79 °C para o dormitório do apartamento 404 do bloco 04 e 19,51 °C na sala de estar e 17,43 °C no dormitório para o outro apartamento. Dessa maneira, o sistema de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos apresentou diferença significativa no desempenho térmico dos apartamentos localizados no pavimento térreo e no último pavimento da edificação. No térreo, as temperaturas permaneceram mais tempo dentro dos limites estabelecidos, apresentando valores mais constantes. De acordo com o estudo, as propriedades térmicas calculadas para os elementos de paredes e cobertura do sistema foram aceitas pelo critério da NBR 15220 (ABNT, 2005). Entretanto, segundo a NBR 15775 (ABNT, 2013) a parede possui a transmitância térmica abaixo do limite recomendado na norma.

2.4.2 Sistemas de Coberturas

Os fechamentos horizontais e verticais apresentam grande influência sobre as condições de conforto térmico de uma habitação, expondo que todo o material deve ser escolhido de tal forma que leve em consideração as particularidades climáticas de cada região do país (SACHT & ROSSIGNOLO, 2009).

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021c), os sistemas de coberturas são projetados e executados de forma a proteger os demais sistemas, sendo notado uma maior influência da radiação direta solar em casas térreas, último pavimento de sobrados ou prédios interferindo diretamente no consumo de energia dessas para acionamento de equipamentos de ventilação forçada e/ou condicionamento artificial. Assim, a norma expõe que as ações de intempéries, particularmente o vento, a intensidade das chuvas e insolação são os itens que exercem maior influência nas edificações, sendo determinantes para realizações dos projetos.

Os pavimentos em contato com os sistemas de coberturas apresentam um consumo de energia superior, se comparado aos outros pavimentos de uma edificação, utilizando maiores níveis de resfriamento no sistema de ar-condicionado para manter o ambiente interno em conforto térmico (COSTA & LIMA, 2017).

Turczyn e Neves (2019) realizaram em seu estudo a avaliação do desempenho térmico de uma residência através de simulação no *EnergyPlus* e efetuaram 8 simulações com diferentes tipos de cobertura, onde todos os cenários verificados conseguiram auxiliar na melhoria do conforto térmico da residência abordada com relação ao projeto original. Os autores concluíram que pequenas modificações nos materiais foram capazes de auxiliar na melhoria do conforto térmico do local. Os autores conseguiram uma redução de 21,8% dos graus-hora de desconforto térmico apenas ao pintar a cor da superfície externa da telha de branco, baixando a absorvância do sistema de cobertura de $\alpha=0,4$ para $\alpha=0,2$. A pesquisa também efetuou diferentes tipos de composições de materiais para verificar o impacto que essa combinações causariam no conforto térmico do usuário e a simulação que menos alterou as características originais de projeto, conseguiu reduzir 42,2% de graus-hora de carga de desconforto realizando a pintura da telha para a cor branca, diminuindo a laje de concreto do piso para 10 cm e estendendo o beiral e o brise original para toda face oeste, demonstrando que soluções com baixo custo aumentariam consideravelmente o período de conforto do ambiente.

Donato e Braga (2018) realizaram um estudo em Rondonópolis (Mato Grosso) em 3 empreendimentos, para verificar o atendimento a antiga NBR 15575 (ABNT 2013) e apenas um empreendimento atendeu ao desempenho mínimo da norma. Assim sendo, os autores acreditam que as construtoras locais da cidade analisada não possuem o conhecimento técnico necessário para desenvolver projetos com foco no atendimento ao desempenho térmico.

Brito; Pires; Akutsu (2018) à época, afirmaram em seu estudo, que era necessário revisar o critério do método simplificado para os sistemas de coberturas da NBR 15575 (ABNT, 2013), principalmente quanto ao isolamento térmico da cobertura em função da ventilação do recinto, visto que ventilar a cobertura nem sempre compensará o uso de componentes com baixa isolamento térmica ou sem forro.

2.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO

No capítulo em questão, foram explorados os conceitos fundamentais que serviram de base para o aprimoramento desse estudo. Segundo Krelling e Hackenberg (2015), é notório aumento da demanda por projetos de edifícios que compreendem não somente às exigências fundamentais dos indivíduos, mas que salientam a relevância de oportunizar eficiência aos ambientes, bem como colaborar com a economia dos recursos naturais.

A NBR 15220 (2005b) apresenta as estratégias que podem ser utilizadas para cada região bioclimática, estabelecendo diretrizes construtivas para melhoria na elaboração dos projetos arquitetônicos.

Com as atualizações dos regulamentos necessários para realização de financiamento das HIS, houve a imposição de atendimento aos requisitos mínimos dos níveis da norma de desempenho, sendo o desafio maior das construtoras atender aos níveis de exigência mínimos necessários, não aumentando de forma exacerbada o valor da construção, para não precisar repassar esse aumento aos seus clientes e perder para a concorrência.

À vista disso, o planejamento para a elaboração do projeto de uma edificação é caracterizado por uma série de tomadas de decisões que tendem a exercer grande

influência no seu desempenho final (SEBBEN *et al.*, 2022). Assim, os autores revelam que o uso da simulação computacional é capaz de representar o comportamento das edificações reais, seja em fase de projeto ou após a sua construção. Serão utilizados nesse trabalho ferramentas computacionais para análise térmica do estudo de caso em questão.

Compete ressaltar a necessidade que a população demonstra nos quesitos de desempenho térmico, pois ainda há muitos resquícios das habitações de baixa renda que foram construídas no século passado, onde caso sejam testadas na atualidade, a sua grande maioria não teria a capacidade de atender o mínimo de desempenho estabelecido pela norma (SACHT & ROSSIGNOLO, 2009). Apesar do Brasil ser um país de clima predominantemente tropical, o objeto de estudo está localizado em uma região denominada de clima subtropical, com características que compõem estações com verão e inverno bem definidos. O país demonstra diversos percalços relacionados ao conforto térmico das edificações em seu território que devem ser eliminados com a melhoria dos processos que exigem atendimento as normas e regulamentam a construção das edificações.

Com isso, esta pesquisa pode contribuir com os estudos relacionados às HIS em empreendimento multifamiliares, com ênfase na área de desempenho térmico e simulação computacional, acometendo os requisitos expostos na atualização da NBR 15575 (ABNT, 2021) para verificação dos níveis de desempenho e realizações de medições *in loco* para comparar as possíveis discrepâncias para melhoria dos modelos em trabalhos futuros.

É indiscutível a importância da aplicabilidade da NBR 15575 (ABNT, 2021) frente ao mercado da construção civil habitacional no Brasil, pois o país esteve por muitos anos produzindo edifícios pouco atentos às exigências dos usuários de habitabilidade, sustentabilidade e segurança, principalmente no que diz respeito a parte de desempenho térmico das edificações (DONATO & BRAGA, 2018).

Diversos autores como Brito; Pires; Akutsu (2018), Chvatal (2014), Sorgato *et al.* (2012) afirmaram em seus estudos que o método simplificado apresentado na NBR 15575 (ABNT, 2013) apresenta falhas de processo e pode mascarar os resultados para o desempenho térmico das edificações. Nesse sentido, esse estudo visa determinar quais os impactos causados pela atualização da NBR 15575 em termos de desempenho térmico, demonstrando os benefícios relacionados a confiabilidade do método de simulação computacional.

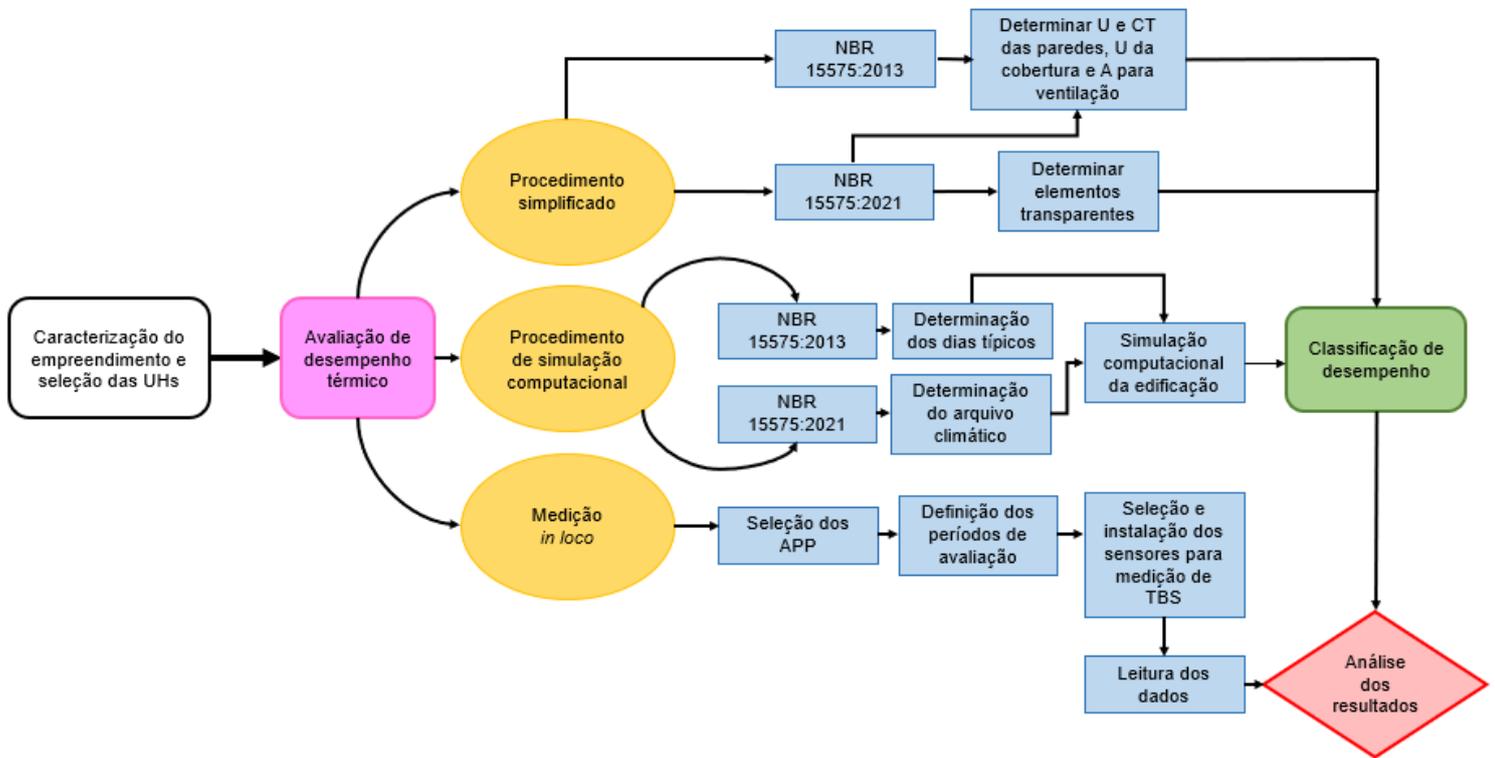
Sorgato *et al.* (2012) comprovam em seu estudo os impactos negativos causados pela NBR 15575 (ABNT, 2013). Dentre os efeitos desfavoráveis aos procedimentos adotados na norma em questão estão: a área de aberturas para ventilação, o sombreamento e o método de simulação. Os autores afirmam que o método de simulação proposto na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) não permite apropriada verificação anual do desempenho térmico das edificações. Nesse sentido, eles destacam que o método não avalia a condição de uso real da edificação em análise – verão, cargas internas, ventilação, entre outras estratégias bioclimáticas e o método é referente ao dia de projeto que apresenta temperaturas extremas, as quais ocorrem geralmente a cada 30 anos, não representando a condição normal de temperatura.

Nesse cenário, D'Avila e Graff (2020); Santos; Porto; Silva, (2020) e Guarda *et al.* (2018) destacam que os projetos das HIS são elaborados para atender produções em larga escala e costumam não considerar o clima local para seu desenvolvimento. Assim, esta pesquisa busca contribuir para melhoria de alcance de desempenho em habitações de interesse social para a zona bioclimática 2.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão esclarecidos os métodos de pesquisa para o desenvolvimento deste trabalho. Dessa forma, esta seção foi dividida em 2 partes, iniciando em caracterização do estudo (localização do objeto de estudo, características do empreendimento) e por último, a avaliação de desempenho térmico. A seguir, a figura 4 apresenta o fluxograma com as etapas executadas para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Figura 4 - Fluxograma da metodologia



Fonte: Autora (2023).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

O setor imobiliário da cidade de Pelotas – RS tem apresentado crescente avanço nas últimas décadas, considerando o déficit habitacional da cidade, que em 2013, era de 13.598 unidades, cerca de 11,93%, índice considerado alto em comparação às cidades de mesmo porte que apresentam média de 6% (PLHIS, 2013).

Entre 2009 e 2016, foram produzidas cerca de 15.500 Unidades Habitacionais (UHs) através do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) (PINTO, 2016). Dessa forma, o setor da construção civil ampliou a sua atuação na cidade, surgindo continuamente novas obras, principalmente relacionadas aos órgãos de fomento de habitação do país.

Com o crescimento significativo do número de construtoras na cidade e o aumento dos requisitos de cobrança do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), através do regimento geral do Sistema de Avaliação da Conformidade de Serviços e Obras (SiAC) – que passou a exigir o atendimento à norma de desempenho – houve a necessidade de projetistas e responsáveis técnicos dos empreendimentos se adaptarem as novas regras.

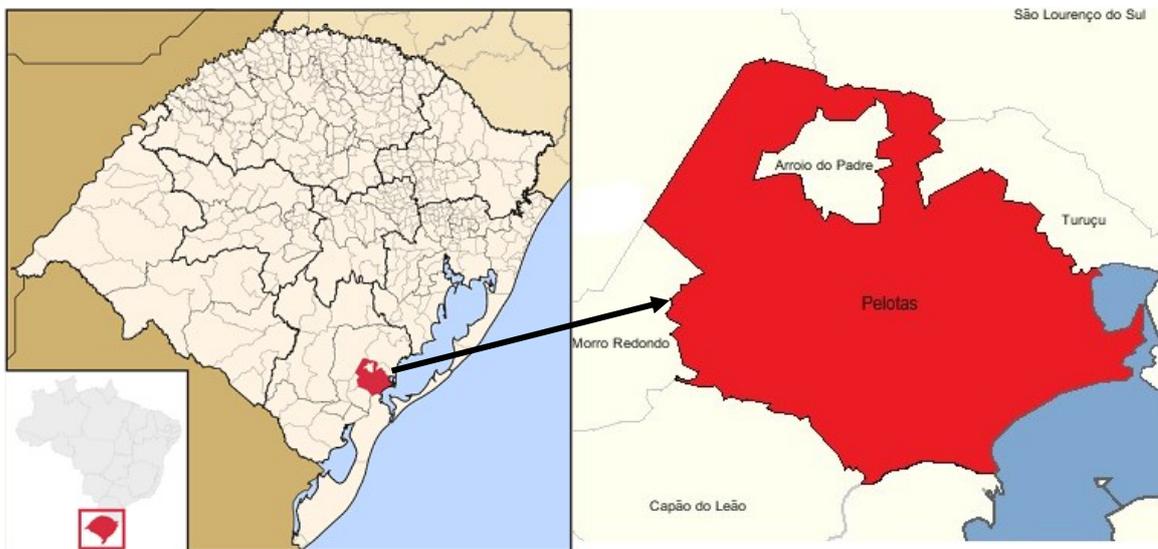
Em 2018, quando foi implementada a atualização do regimento do SiAC para empreendimentos que dependiam diretamente de subsídios de recursos públicos federais, verificou-se o grande desconhecimento das construtoras com relação a NBR 15575 (ABNT, 2013), mesmo com a publicação da norma tendo sido realizada em 2013.

Dessa forma, esta pesquisa tem como foco um estudo de caso, em um condomínio residencial de apartamentos executado por uma construtora que atua em obras através do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), com financiamento de recursos federais.

3.1.1 Localização do Objeto de Estudo

O empreendimento multifamiliar que será avaliado neste estudo, localiza-se no município de Pelotas (Figura 5), na região sul do estado do Rio Grande do Sul, possuindo como coordenadoras geográficas a latitude 31° 46' 34" Sul, longitude 52° 21' 34" Oeste e altitude de 9 metros. O clima de Pelotas apresenta períodos de chuva durante todos os meses do ano e verões mais moderados, sendo classificado como Cfa de clima subtropical úmido, conforme a classificação de Köppen (NÖRNBERG & REHBEIN, 2021).

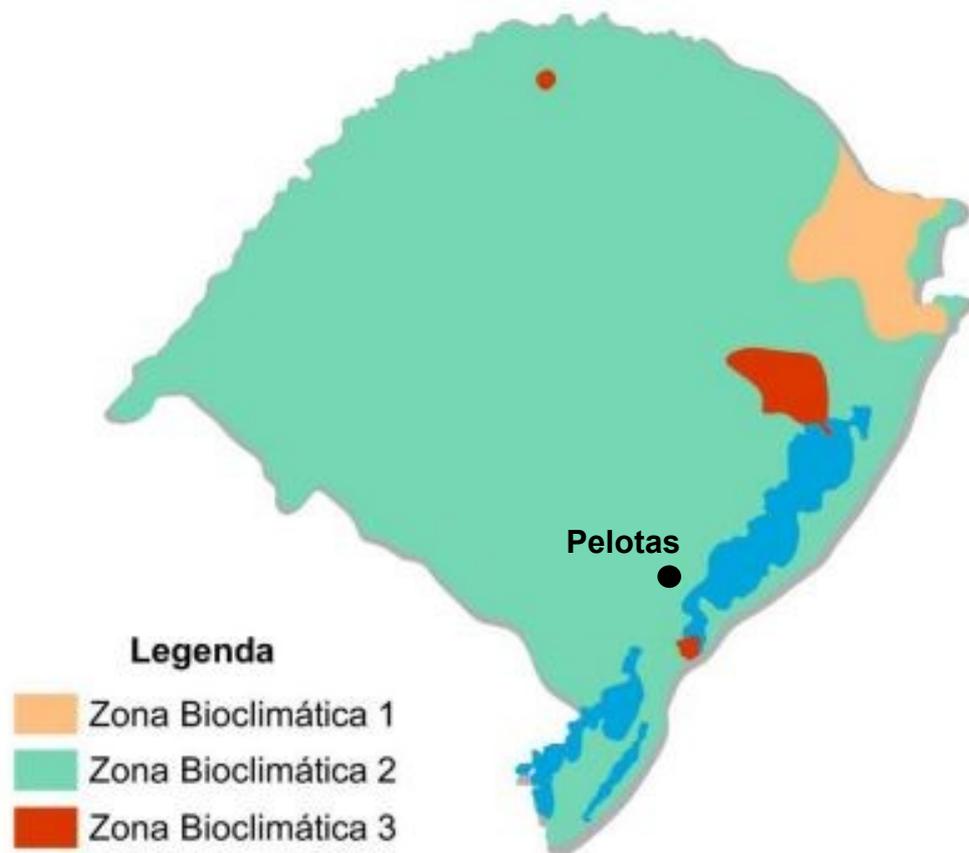
Figura 5 - Localização geográfica do município de Pelotas – RS



Fonte: Adaptado de Abreu (2006).

Conforme a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a cidade de Pelotas está situada na zona bioclimática 2 (Figura 6). Segundo Silva (2021), essa zona é caracterizada pelo clima frio, mas apesar disso, possui verão quente e úmido, apresentando uma combinação que desafia o alcance do conforto ao longo do ano, necessitando das melhores estratégias de arquitetura bioclimática, já que possui inverno e verão bem definidos e rigorosos.

Figura 6 - Representação das zonas bioclimáticas do Rio Grande do Sul, com destaque para Pelotas

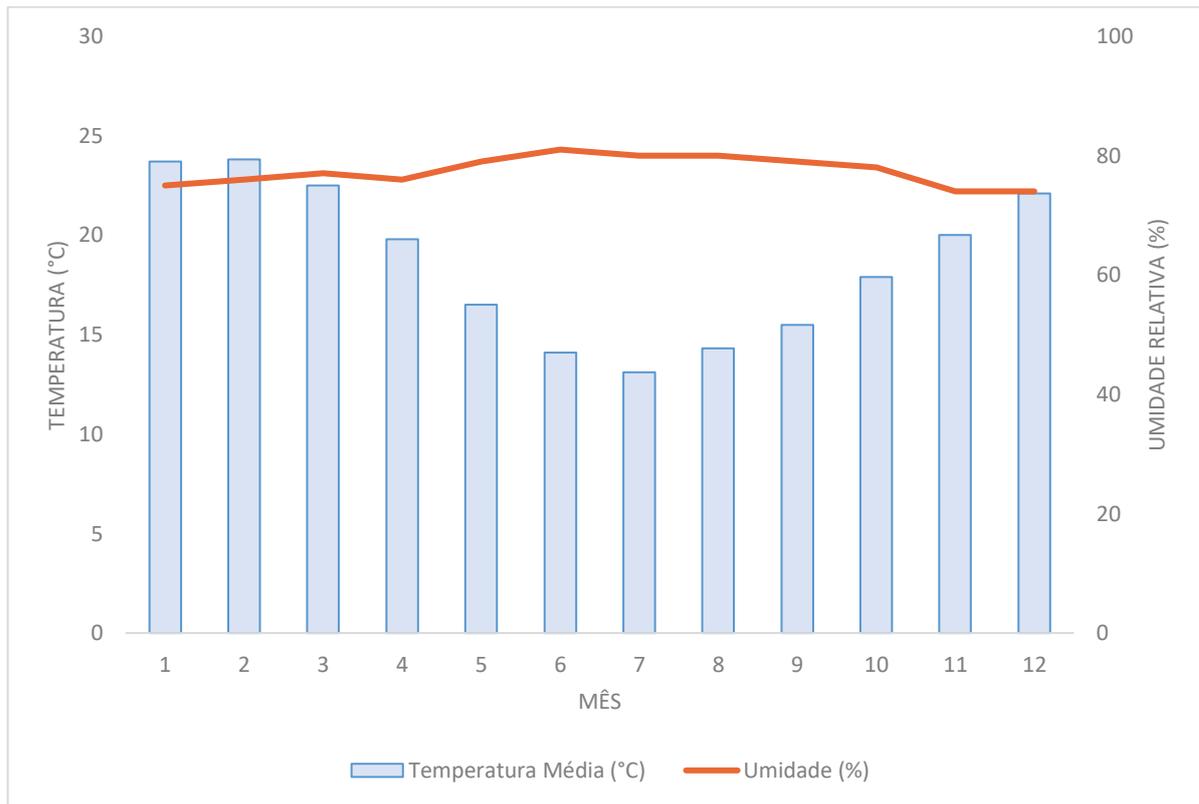


Fonte: Adaptado de Soares (2014).

Segundo os dados climatológicos do Brasil (1991-2020), a temperatura média anual de Pelotas é de 18,2°C, apresentando em julho (mês mais frio) média das temperaturas mínimas de 8,5°C e em janeiro (mês mais quente), média das temperaturas máximas de 28,6°C, possuindo umidade relativa média anual de 81% e precipitação aproximada de 1400 mm ao ano (INMET, 2022).

O mês de fevereiro apresenta uma temperatura média de 23,8°C e julho registra temperatura média de 13,1°C. A figura 7 apresenta as médias mensais de temperatura do ar e da umidade relativa de Pelotas.

Figura 7 - Médias mensais de temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) de Pelotas

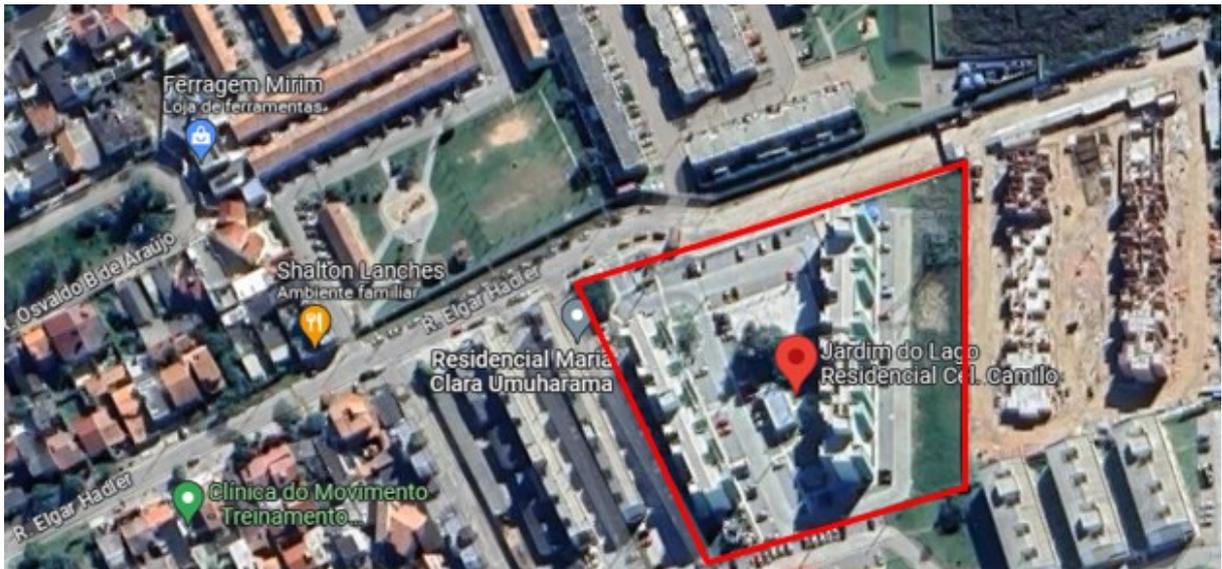


Fonte: Adaptado de Climate Data.org.

A cidade de Pelotas encontra-se a uma distância de 262 km de Porto Alegre, a qual é a capital do estado do Rio Grande do Sul, possui área de unidade territorial de 1.609,708 km² e a população estimada do município é de 343.826 pessoas (IBGE, 2021).

O empreendimento objeto de estudo localiza-se no bairro São Gonçalo de Pelotas, fazendo divisa com outras edificações multifamiliares, sendo que uma das laterais do condomínio, não há nenhum tipo de edificação (Figura 8). O terreno possui área de 10.201,65 m², com área total de construção de 7.442,96 m², possuindo uma taxa de ocupação de construção em relação ao terreno de 15,53% e taxa de permeabilidade de 34,08%.

Figura 8 - Localização do empreendimento



Fonte: Adaptado de Google Maps (2023).

3.1.2 Características do Empreendimento

O empreendimento que é objeto de estudo deste trabalho é um condomínio residencial de interesse social faixa 2 e faixa 3 financiado pelo Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) (Figura 9). Este empreendimento é de uma construtora da cidade de Pelotas, no Rio Grande do Sul, que atua há 15 anos no mercado Pelotense. O local onde o objeto de estudo está inserido é constituído por 7 blocos, possui 5 pavimentos com 4 apartamentos por andar, totalizando 140 unidades que variam de 33,65m² até 61,21m². Cabe evidenciar que o apartamento padrão possui área de 45,18 m². Dessa forma, os blocos 02, 03, 04, 06 e 07 possuem apartamentos padrões, com dois dormitórios, e os blocos 01 e 05, dispõem de unidades de apenas 1 dormitório e unidades de 2 dormitórios com opção de ampliação para 3 dormitórios, já que a sala de jantar e a sala de estar são separadas. O empreendimento possui também salão de festas, guarita e diversas áreas de lazer.

Figura 9 – Visão geral do empreendimento (a); Fachada do objeto de estudo (b).

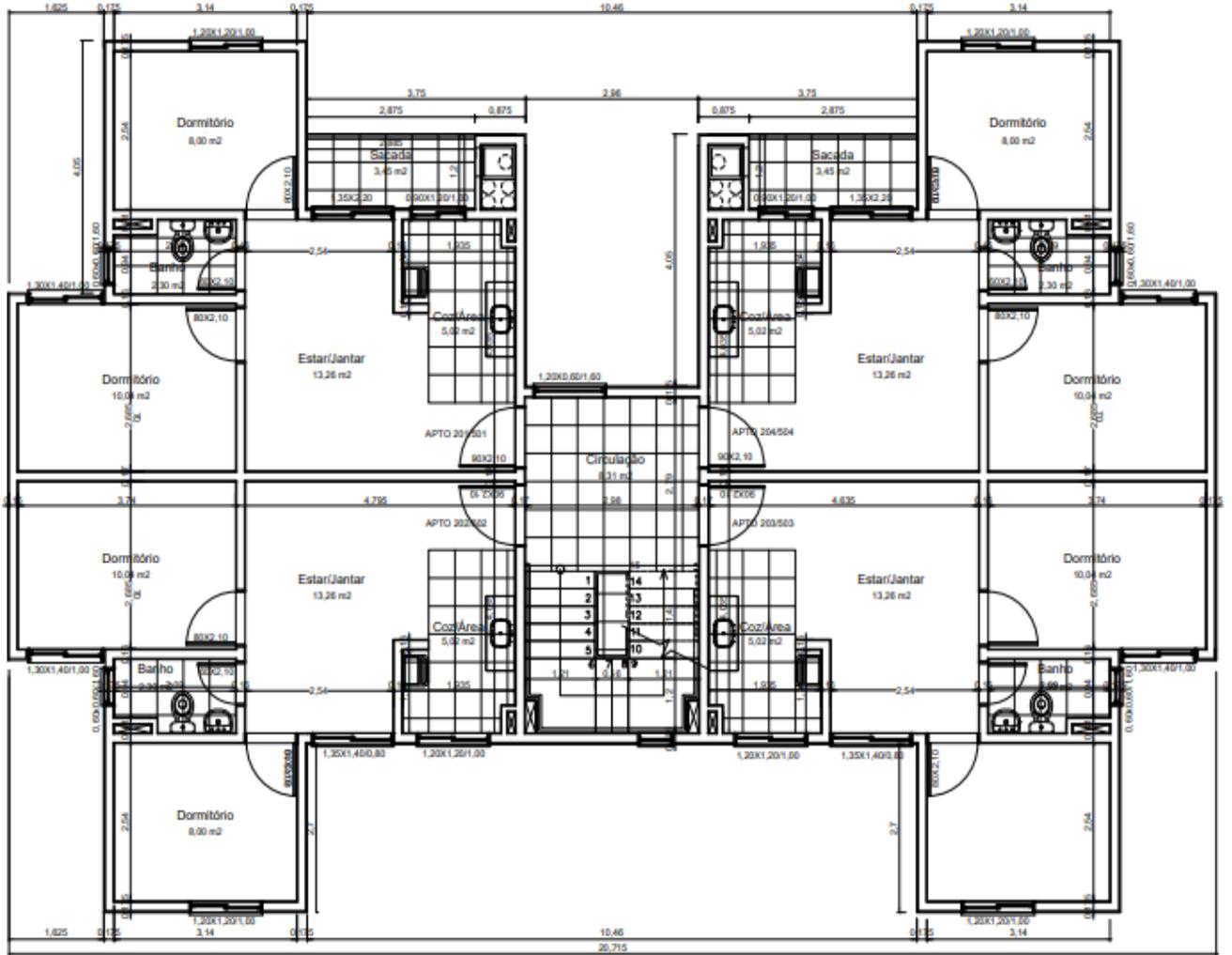


A tipologia arquitetônica é composta por um edifício residencial multifamiliar, com características construtivas compostas por alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, revestimento argamassado externamente, revestimento de gesso internamente, laje de concreto maciço moldada *in loco* de espessura de 10 centímetros entre pavimentos e sistema de cobertura composto por telha de fibrocimento, com laje de concreto maciço moldada *in loco* de espessura de 10 centímetros, sendo melhor detalhado no anexo A, já os tamanhos das aberturas de cada ambiente pode ser verificado no anexo B. A figura 10 apresenta a planta baixa do edifício analisado e a tabela 18 expõe as características dos ambientes do apartamento padrão do empreendimento.

Tabela 18 - Características dos ambientes do apartamento padrão

Ambiente	Área (m ²)	Pé direito (m)
Banheiro	2,30	2,32
Dormitório 1	10,04	2,60
Dormitório 2	8,00	2,60
Sala de Estar	13,26	2,60
Cozinha/Área de Serviço	5,02	2,40

Figura 10 - Planta baixa do pavimento tipo (sem escala)



PLANTA BAIXA PAV. TIPO
BLOCOS 2 e 3



Fonte: Empresa Construtora.

3.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO

3.2.1 Procedimento Simplificado

3.2.1.1 *NBR 15575:2013*

O procedimento simplificado, avalia as propriedades térmicas dos materiais componentes da edificação e compara com os valores de referência expostos da norma. Assim sendo, a NBR 15575 (ABNT, 2013) apresenta valores mínimos para classificar a edificação em desempenho mínimo, levando-se em consideração os itens: transmitância térmica (U) – para paredes e cobertura, capacitância térmica das paredes (C_T) e o percentual de abertura efetiva para ventilação (A) para os ambientes de permanência prolongada (APP).

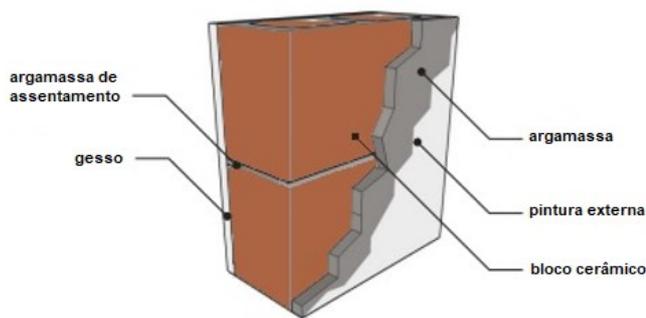
A tabela 19 apresenta as características construtivas e propriedades termofísicas dos materiais adotados para construção analisada. Os valores para U e C_T foram calculadas de acordo com a NBR 15220- 2: Desempenho térmico de edificações - Parte 2 - componentes e elementos construtivos das edificações - resistência e transmitância térmica - métodos de cálculo (ABNT, 2021) e os valores de absorção das paredes e coberturas foram retirados do estudo realizado por Dornelles (2008).

Em contrapartida, o percentual de abertura efetiva para ventilação é calculado a partir da área efetiva de ventilação nas aberturas pela área útil interna dos ambientes de permanência prolongada. Desse modo, avalia-se os valores de projeto das áreas das janelas para verificar a área de ventilação, bem como análise da área útil do ambiente para averiguar se o percentual de abertura efetiva está conforme os valores de referência datados na NBR 15575 (ABNT, 2013). Para fins de cálculo, foram considerados o valor total da área de cada janela e como os ambientes são compostos por janelas com duas folhas de correr, a abertura máxima é obtida quando uma folha está sobre a outra. Dessa maneira, descontando-se as áreas dos perfis, tem-se uma área de ventilação de 40% do valor total de área de janela para sala de estar / sala de jantar e cozinha, sendo nos dormitórios esse valor reduzido para 35% por conta de existência da caixa da persiana. A tabela 20

apresenta a avaliação das áreas efetivas de ventilação natural das unidades habitacionais.

Tabela 19 – Propriedades térmicas das paredes e cobertura

PAREDES EXTERNAS E INTERNAS



Bloco cerâmico (14 x 19 x 29 cm)
Argamassa externa (2,5 cm)
Gesso interno (0,5 cm)

Pintura externa (α_E)
 $\alpha_E = 0,79$ (verde musgo)
 $\alpha_E = 0,68$ (alecrim)

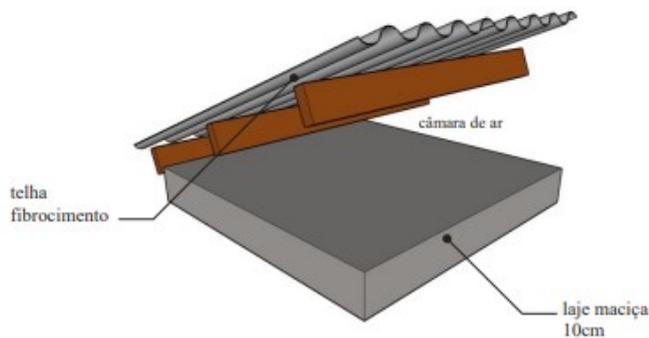
Pintura interna (α_I)
 $\alpha = 0,34$ (branco gelo)

$U = 1,96$ (W/m².K)

$C_T = 245$ (kJ/m².K)

Fonte: Adaptado de MORISHITA *et al.* (2011)

COBERTURA



Telha Fibrocimento (8 mm)

Câmara de ar (> 5,0 cm)

Laje maciça de concreto (10 cm)

$U = 2,06$ (W/m².K)

$C_T = 233$ (kJ/m².K)

$\alpha = 0,46$

Fonte: MORISHITA *et al.* (2011)

Tabela 20 - Avaliação das áreas efetivas de ventilação natural das unidades habitacionais

Blocos 02, 03, 04, 06 e 07	Apartamentos Final 01 e 04				
	APP	Área de Janela (m ²)	Área de Ventilação (m ²)	Área Útil do Ambiente (m ²)	% Ventilação (>7%)
	Dormitório 1 (10,04 m ²)	1,82	0,637	10,04	6,34
	Dormitório 2 (8,00 m ²)	1,44	0,504	8,00	6,30
	Estar/Jantar – Cozinha	4,02	1,608	18,28	8,79
	Apartamentos Final 02 e 03				
	APP	Área de Janela (m ²)	Área de Ventilação (m ²)	Área Útil do Ambiente (m ²)	% Ventilação (>7%)
	Dormitório 1 (10,04 m ²)	1,82	0,637	10,04	6,34
	Dormitório 2 (8,00 m ²)	1,44	0,504	8,00	6,30
	Estar/Jantar – Cozinha	3,06	1,224	18,28	6,69

Convém destacar que os valores utilizados para cálculo da tabela 20 foram os valores evidenciados na NBR 15575 (ABNT 2013a). Entretanto, o Código de Obras da cidade de Pelotas-RS apresenta em seu artigo 115 que ambientes de permanência prolongada devem possuir vãos de abertura para o exterior de pelo menos 1/6 (um sexto) da área do piso e em ambientes de permanência transitória não devem ser inferiores 1/8 (um oitavo) da área do piso, sendo necessário que as janelas sejam dotadas de dispositivos que permitam a renovação do ar, com pelo menos 50% da área mínima exigida, mas não especifica a necessidade de descontar os perfis da janela ou qualquer outro componente efetivo que irá barrar a passagem da ventilação. Para esse estudo, foram utilizados os critérios da NBR 15575, tendo em vista que a norma é mais restritiva para esse item.

3.2.1.2 NBR 15575:2021

A NBR 15575 (ABNT, 2021) trouxe uma importante contribuição para análise do procedimento simplificado apresentado na versão anterior. Assim, além das propriedades anteriormente avaliadas, houve a inclusão do item que considera o

Percentual de Elementos Transparentes ($P_{t,APP}$) e área da superfície dos elementos transparentes ($A_{t,APP}$) nos Ambientes de Permanência Prolongada (APP). Dessa forma, a atualização da NBR 15575 ainda considera a avaliação dos itens transmitância térmica (U) – para paredes e cobertura, capacitância térmica das paredes (C_T) e o percentual de abertura efetiva para ventilação (A) para os ambientes de permanência prolongada (APP) segundo os parâmetros de referência das propriedades térmicas para cada zona bioclimática, bem como o novo incremento para avaliação através do procedimento simplificado.

Nesse cenário, compete evidenciar que o procedimento simplificado pode ser utilizado apenas quando se deseja avaliar o nível mínimo de desempenho da NBR 15575, caso o avaliador deseje outros níveis de desempenho, deve-se partir para o método de simulação computacional. Assim sendo, como já foi apresentado no tópico anterior os valores calculados das propriedades térmicas dos materiais (U_{par} , C_{Tpar} , U_{cob} e $A/P_{v,APP}$), a tabela 21 apresenta o item remanescente para ser possível verificar o nível mínimo de desempenho térmico através de NBR 15575 (ABNT, 2021).

Dessa forma, como não há nenhum APP com área de piso superior a 20,0 m², avalia-se apenas o item $P_{t,APP}$, sendo que este critério deve ser $P_{t,APP} \leq 20\%$.

Tabela 21 - Avaliação dos elementos transparentes dos ambientes de permanência prolongada

Blocos 02, 03, 04, 06 e 07	Apartamentos Final 01 e 04			
	APP	$A_{t,APP}$ (m ²)	$A_{p,APP}$ (m ²)	$P_{t,APP}$ ($\leq 20\%$)
	Dormitório 1 (10,04 m ²)	1,13	10,04	11,25
	Dormitório 2 (8,00 m ²)	0,84	8,00	10,50
	Estar/Jantar – Cozinha	3,15	18,28	17,23
	Apartamentos Final 02 e 03			
	APP	$A_{t,APP}$ (m ²)	$A_{p,APP}$ (m ²)	$P_{t,APP}$ ($\leq 20\%$)
	Dormitório 1 (10,04 m ²)	1,13	10,04	11,25
	Dormitório 2 (8,00 m ²)	0,84	8,00	10,50
	Estar/Jantar – Cozinha	2,44	18,28	13,34

3.2.2 Procedimento de Simulação Computacional

3.2.2.1 NBR 15575:2013

Para execução da simulação computacional, foi desenvolvido um modelo tridimensional (3D), através da planta baixa do empreendimento, empregando o *software SketchUp Pro* (versão 2021) e posteriormente efetuado a simulação através do *plug-in OpenStudio* 3.4.0 que é uma funcionalidade utilizada para auxiliar na modelagem para realizar a interligação entre o modelo 3D com o *software EnergyPlus* (versão 22.1.0).

A NBR 15575 (ABNT, 2013a) considera a verificação de dias típicos de verão e de inverno para realizar a simulação computacional. Dessa forma, deve-se avaliar quais valores serão considerados como referência de temperatura para cada caso em questão.

3.2.2.1.1 Construção: Propriedades Térmicas dos Materiais

A determinação dos dados de entrada que serão utilizados para desenvolvimento da simulação computacional desse estudo, consiste em identificar os materiais de construção aplicados para execução do empreendimento e verificar as características térmicas relativas a cada material. Nesse sentido, foram coletados os dados construtivos com a empresa responsável pela execução do empreendimento analisado, os sistemas de paredes e cobertura do prédio.

Para realizar a simulação computacional, foi necessário definir parâmetros relativos as propriedades térmicas de cada material, os quais são apresentados na tabela 22. Os valores das propriedades térmicas, assim como os cálculos de resistência térmica de cada material, foram baseados na biblioteca de componentes construtivos brasileiros para uso no programa *EnergyPlus* de Weber *et al.* (2017).

Tabela 22 - Características dos materiais aplicados para simulação

Material (espessura)	Condutividade Térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kg.K)	Resistência Térmica (m ² .K/W)
Argamassa reboco (2,5 cm)	1,150	2000	1,000	0,022
Gesso interno (0,5 cm)	0,300	900	0,840	0,057
Bloco cerâmico (14 cm)	0,900	1600	0,920	0,017
Concreto – laje (10 cm)	1,750	2200	1,000	0,057
Telha de fibrocimento (0,8 cm)	0,950	1900	0,840	0,008
Piso de Madeira (0,7 cm)	0,150	600	1,340	0,067
Madeira – porta (3,5 cm)	0,150	550	2,300	0,233
Isolante térmico (Piso de Madeira)	-	-	-	25,075
Câmara de ar	-	-	-	0,297

Fonte: Baseado no estudo de Weber *et al.* (2017).

A simulação computacional foi composta por 4 zonas térmicas, efetuando a simulação considerando as condições críticas do ponto de vista térmico. Foram avaliados o modelo para as duas condições que a norma exige: desempenho no verão e desempenho no inverno, onde o critério de análise é baseado em valores máximos e mínimos de temperatura do ar considerando os ambientes de permanência prolongada e comparando com a temperatura do ar externo. O modelo de bloco cerâmico é o utilizado para alvenaria estrutural que contém 2 furos e câmara de ar semelhante ao bloco de concreto estrutural apresentado por Weber *et al.* (2017).

As esquadrias são compostas por portas de madeira e janelas de alumínio de duas folhas de correr. O banheiro é composto por um modelo de janela maxim-ar. Todos os vidros são comuns e incolores com espessura de 4 milímetros. As dimensões e especificações das janelas foram apresentadas no Anexo B desta pesquisa.

A tabela 23 mostra a disposição das camadas construtivas consideradas para simulação computacional. A tipologia construtiva para representação da tabela considera inicialmente a camada mais externa até chegar à camada interna.

Tabela 23 - Camadas do sistema construtivo do objeto de estudo

Sistema Construtivo	Camada	Espessura (cm)
Parede Externa	Argamassa externa	2,50
	Cerâmica	1,65
	Camada de Ar	10,70
	Cerâmica	1,65
	Gesso interno	0,50
Parede Interna	Gesso interno	0,50
	Cerâmica	1,65
	Camada de Ar	10,70
	Cerâmica	1,65
	Gesso interno	0,50
Cobertura	Telha de fibrocimento	0,80
	Câmara de ar	5,00
	Laje maciça de concreto	10,00
	Gesso interno	0,50
Piso	Piso de Madeira	0,70
	Isolante Térmico	0,10
	Laje maciça de concreto	10,00

3.2.2.1.2 Contato com o Solo

A NBR 15575 (ABNT, 2013a) não especifica a necessidade de considerar as trocas térmicas da edificação com o solo existente, bem como não apresenta qual relação deve ser considerada para realizar a simulação computacional. Desse modo, como não há exigência explícita de que deve ser realizado a modelagem do solo em contato com a edificação, o sistema foi considerado adiabático, considerando assim que não há troca de calor entre o piso da edificação e o solo.

3.2.2.1.3 Padrão de Uso e Ocupação e Comportamento do Usuário

O modelo de simulação computacional da versão 2013 da norma de desempenho não considera a inserção das cargas térmicas internas, as quais representam o padrão de uso e ocupação do usuário – abrir e fechar as janelas para auxiliar na ventilação natural ou fazer uso de sistemas condicionadores de ar – e como o indivíduo utiliza os ambientes de permanência prolongada (iluminação e equipamentos).

3.2.2.1.4 Infiltração de ar

O valor de infiltração de ar é estipulado como padrão na NBR 15575 (ABNT, 2013a). Assim, o valor constante utilizado é de 1 ren/h, o que significa que é efetuada uma renovação de ar por hora e foi inserido no *software EnergyPlus* através da ferramenta *ZoneVentilation:DesignFlowRate*. Caso não atinja ao desempenho térmico mínimo para o período de verão, a norma permite que seja substituído o valor de 1 ren/h para 5 ren/h.

3.2.2.1.5 Referência dia típico de verão e dia típico de inverno para Pelotas – RS

A versão de 2013 da NBR 15575 apresenta dados representativos para dias típicos de verão e dias típicos de inverno, expondo os valores de temperatura máxima diária (°C), amplitude diária de temperatura (°C), temperatura de bulbo úmido (°C), radiação solar (Wh/m²) e nebulosidade décimos de referência apenas para as 26 capitais dos estados do Brasil e também para a capital federal (Brasília). Desse modo, para realizar a simulação computacional em regiões afastadas dos grandes centros urbanos, a norma recomenda a utilização dos dados climáticos de uma cidade com características semelhantes e na mesma zona bioclimática brasileira. A NBR 15575 (ABNT, 2013a) exhibe também a seguinte nota: “Arquivos climáticos gerados por instituições de reconhecida capacitação técnica (universidades ou institutos de pesquisa) podem ser utilizados, desde que a fonte seja devidamente referenciada e os dados sejam de domínio público”. Ao longo dos

anos, novos arquivos climáticos foram sendo desenvolvidos, abrangendo também outras regiões do país que estão afastadas dos grandes centros urbanos. Dessa forma, houve a elaboração de um arquivo climático, disponível na base de dados oficiais, para a cidade de Pelotas – RS do tipo TMY. Todavia, arquivos desse modelo excluem meses muito quentes ou muito frios, mascarando os resultados para determinação de dias típicos de verão e de inverno, sendo arbitrado para as simulações realizadas nesta pesquisa o uso de um arquivo climático do tipo INMET de Camaquã – RS (cidade próxima).

A tabela 24 apresenta os valores que foram utilizados nesse trabalho para realizar a simulação computacional seguindo as premissas da NBR 15575 (ABNT, 2013).

Tabela 24 - Dia típico de verão e dia típico de inverno na cidade de Camaquã – RS

	Dia típico	Valores
Verão	Te,máx de bulbo seco	35,5°C
	Te,máx de bulbo úmido	26,0°C
	Amplitude Térmica	14,7°C
Inverno	Te,mín de bulbo seco	1,2°C
	Te,mín de bulbo úmido	9,5°C
	Amplitude Térmica	14,5°C

Fonte: Milan (2015).

Segundo Milan (2015), a temperatura externa máxima anual ocorre no dia 10 de janeiro às 13h e a temperatura interna mínima anual ocorre às 6h do dia 17 de junho. Os dados da tabela 24 serão inseridos no *EnergyPlus* através da ferramenta *SizingPeriod:DesignDay*, a qual utiliza estes parâmetros para simular um dia típico baseado nas informações fornecidas.

3.2.2.2 NBR 15575:2021

A NBR 15575 (ABNT, 2021a) alterou o método de simulação computacional, interrompendo a utilização apenas dos dias típicos de verão e de inverno. Dessa forma, conforme a modificação, deve-se efetuar a simulação contemplando todo o período anual (365 dias, contabilizando as 24 horas diárias de cada ocasião). Para realizar a simulação computacional, foram gerados dois modelos, sendo eles: modelo real e modelo de referência.

Para simular o modelo de referência, foram utilizados os parâmetros apresentados na versão 2021 da norma. Em contrapartida, o modelo real considerou o sombreamento das janelas, o entorno e a área de projeção das sacadas que faz sombreamento para a porta janela da sala de estar e janela da cozinha para os apartamentos com finais 01 e 04 (fachada frontal do prédio). Assim, a seguir serão determinados os parâmetros necessários para efetuar a modelagem.

Para análise dos dados foi utilizada a planilha de cálculo dos indicadores de desempenho, disponibilizada pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE, 2021). A planilha computa todos os cálculos necessários para atingir os índices de cada componente que a NBR 15575 (ABNT, 2021a) apresenta como requisito para alcance dos níveis de desempenho térmico.

Após completar a simulação computacional, os dados foram incluídos na planilha de análise calculando cada pavimento verificado de modo separado e considerando todos os Ambientes de Permanência Prolongada (APP) de forma unívoca para analisar os indicadores dos parâmetros necessários para atingir cada nível de desempenho.

3.2.2.2.1 Construção: Propriedades Térmicas dos Materiais

Os padrões construtivos necessários para simulação computacional foram empregados analogamente a versão 2013, porque os materiais são os mesmos, já que o objeto de estudo não varia de um modelo para o outro. Dessa forma, todos os parâmetros de inserção no *Software EnergyPlus* seguem a tabela 22 e 23 desta pesquisa. A simulação computacional contará com 17 zonas térmicas por pavimento, sendo 4 zonas térmicas por apartamento e 1 zona térmica relativa à área

da circulação da edificação. Totalizando 49 zonas térmicas para cada modelo, onde a circulação vertical da edificação foi agrupada e modelada como um único ambiente como APT. As janelas dos dormitórios possuem proteção solar e para a simulação do modelo real foi considerado essa particularidade, assim como o sombreamento das edificações vizinhas.

3.2.2.2.2 Contato com o Solo

Segundo Eli *et al.* (2019), existem diferentes formas para realizar a simulação do solo no programa *EnergyPlus*. Os autores evidenciam que a escolha por determinado método para simulação do solo irá depender do grau de detalhamento do estudo e da exigência computacional. Diante disso, o método mais simplificado é utilizar as temperaturas médias do solo que podem ser extraídas do arquivo climático. Em contrapartida, a forma um pouco mais abrangente utiliza o pré-processador *Slab*, necessitando de simulações extras para encontrar os valores de temperatura do solo a serem utilizadas na simulação computacional. Por fim, os autores expõem também a existência do método *GroundDomain* que é a terceira forma de modelagem do solo para simulação, onde as temperaturas do solo são calculadas de maneira iterativa, podendo ser realizada através de três métodos: *FiniteDifference*, *Kusuda-Achenbach* e *Xing*.

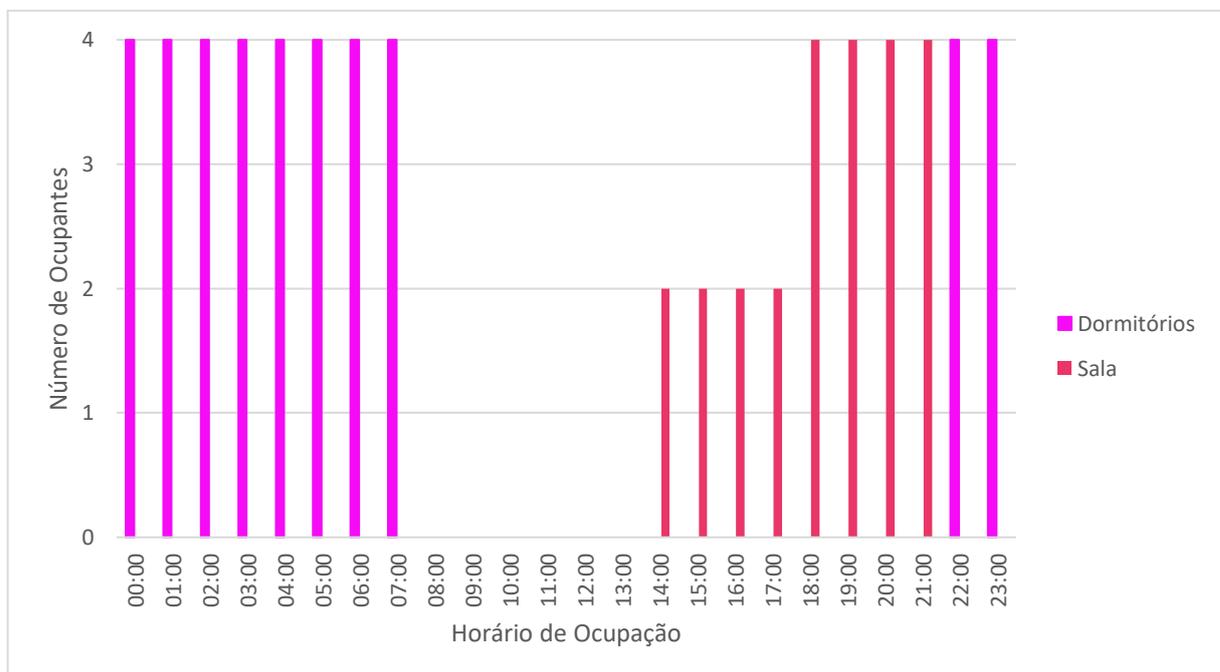
Silva (2019) afirma em seu estudo que o fluxo de calor entre o piso e o solo de uma edificação tem grande influência no seu desempenho térmico e energético. Dessa forma, para efetuar a simulação computacional do pavimento térreo do objeto de estudo, será considerado o contato com o solo através do método *FiniteDifference* do objeto *GroundDomain*, conforme o manual de uso do *GroundDomain* desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE/UFSC (Eli *et al.* 2019).

3.2.2.2.3 Padrão de Uso e Ocupação

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2021a), a modelagem da edificação deve considerar a ocorrência de cargas internas por meio de ocupação dos Ambientes de Permanência Prolongada (APP) pelos usuários através da utilização de iluminação artificial e equipamentos. Dessa maneira, a modelagem da ocupação e das cargas internas deve ser realizada igualmente para o modelo real e para o modelo de referência.

Nesse sentido, os ganhos internos da edificação serão realizados conforme a NBR 15575 (ABNT, 2021a). Serão considerados 4 ocupantes em cada apartamento, sendo 2 ocupantes por dormitório quando o período de ocupação for máximo (100%). A figura 11 apresenta o perfil de ocupação diário dos APP.

Figura 11 – Padrões de ocupação diários dos APP



Fonte: Baseado na NBR 15775 (ABNT, 2021a)

O sistema de iluminação é acionado conforme a presença de pessoas no ambiente. Diante disso, a NBR 15575 (ABNT, 2021a) expõe que o padrão de uso do sistema de iluminação artificial deve ser o mesmo para todos os dias do ano, incluindo os fins de semana. A norma apresenta os valores de Densidade de

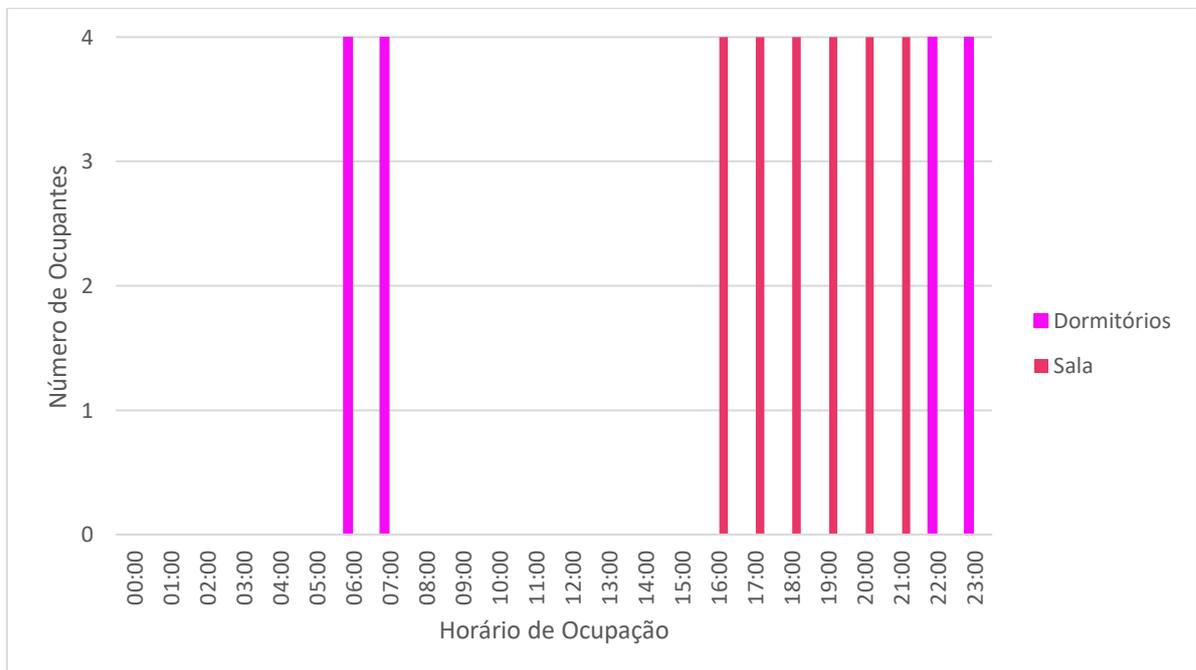
Potência Instalada (DPI) e os valores de fração radiante e visível que devem ser utilizadas na simulação computacional (Tabela 25). A figura 12 apresenta os padrões de uso do sistema de iluminação artificial dos APP.

Tabela 25 - Densidade de potência instalada, fração radiante e fração visível

Ambiente	DPI W/m²	Fração Radiante	Fração Visível
Dormitório	5,00	0,32	0,23
Sala	5,00	0,32	0,23

Fonte: Baseado na NBR 15575 (ABNT, 2021)

Figura 12 - Padrões de uso do sistema de iluminação artificial



Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2021)

3.2.2.2.4 Comportamento do Usuário

Alterações relativas as ações do usuário consideram a interação dos indivíduos com a abertura das janelas para ventilação natural e o acionamento do sistema de condicionamento de ar (ELI, 2020). Nessa perspectiva, a NBR 15575

(ABNT, 2021a) apresenta a análise dos modelos reais e de referência com e sem a utilização de ventilação natural. Para verificação de todos os níveis de desempenho, é fundamental a análise computacional da ventilação natural. As duas maneiras de utilização dos Ambientes de Permanência Prolongada (APP) são:

- a) Com o uso de ventilação natural, para determinação do $PHFT_{UH}$ e das temperaturas operativas anuais máxima ($Tomá_{UH}$) e mínima ($Tomín_{UH}$);
- b) Sem o uso da ventilação natural, para o cálculo das cargas térmicas anuais de refrigeração ($CgTR_{UH}$) e de aquecimento ($CgTA_{UH}$), necessárias para avaliações de níveis de desempenho intermediário e superior.

Segundo a norma, para o modelo simulado com o uso da ventilação natural, deve-se permitir a abertura das janelas apenas quando os APP estiverem ocupados, e de acordo com dois critérios de temperatura: quando a temperatura de bulbo seco interna do APP for igual ou superior a $19^{\circ}C$ e quando a temperatura de bulbo seco interna for superior à temperatura de bulbo seco externa.

Para as janelas dos APP serão consideradas taxas de infiltrações por frestas quando estiverem fechadas (Tabela 26). As janelas dos Ambientes de Permanência Transitória (APT) são consideradas fechadas, com exceção da janela do banheiro que deve ser considerada aberta. As portas internas serão consideradas abertas, com exceção da porta do banheiro que será considerada fechada para simulação do modelo com ventilação natural. A porta externa será considerada fechada e com infiltração por frestas.

Tabela 26 - Descrição dos parâmetros da ventilação natural para esquadrias

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

Fonte: Baseado na NBR 15575 (ABNT, 2021)

É importante evidenciar que, como o modelo real possui janelas com venezianas, essas não serão inseridas no modelo de referência, apenas no modelo real, conforme a recomendação da norma. Assim, a operação da veneziana deve permitir proteger ou expor os elementos transparentes aos quais estão vinculadas, funcionando da seguinte forma, segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021):

- a) As venezianas devem abrir quando a temperatura externa de bulbo seco for menor ou igual a 26°C;
- b) As venezianas devem fechar quando a temperatura externa de bulbo seco for maior que 26°C.

A modelagem no programa *EnergyPlus* para incluir o uso de ventilação natural no modelo é realizada através da classe de objetos *AirFlow Network*. Para a simulação computacional serão inseridos os valores de fluxo de ar através das portas e janelas, de acordo com o funcionamento de cada esquadria, conforme o ambiente onde está inserida.

3.2.2.2.5 Arquivo Climático

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021a), para simulação computacional, são recomendados arquivos climáticos provenientes da base-padrão da norma, o qual constam no relatório técnico TR 15575-1-1 (ABNT, 2021) que recomenda o emprego dos arquivos climáticos da base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A norma destaca que caso a cidade onde a UH está situada não possua arquivo climático, deve ser utilizado o arquivo climático de uma cidade próxima que disponha de clima semelhante. Dessa forma, como a cidade de Pelotas – RS não tem arquivo climático relativo a base-padrão, os autores Freitas; Leitzke; Cunha (2020), Porto (2019) e Dalbem *et al.* (2017) propõem a utilização da cidade de Camaquã – RS, que fica localizada a aproximadamente 135km de distância de Pelotas – RS e possui características climáticas semelhantes e também está situada na zona bioclimática 2.

Dessa forma, conforme as características bioclimáticas da zona 2, a região de Camaquã – assim como Pelotas – em 64% do ano, a cidade enfrenta uma situação de desconforto térmico por frio e em apenas 20% existe uma situação real de conforto térmico para os moradores da cidade (Figura 13).

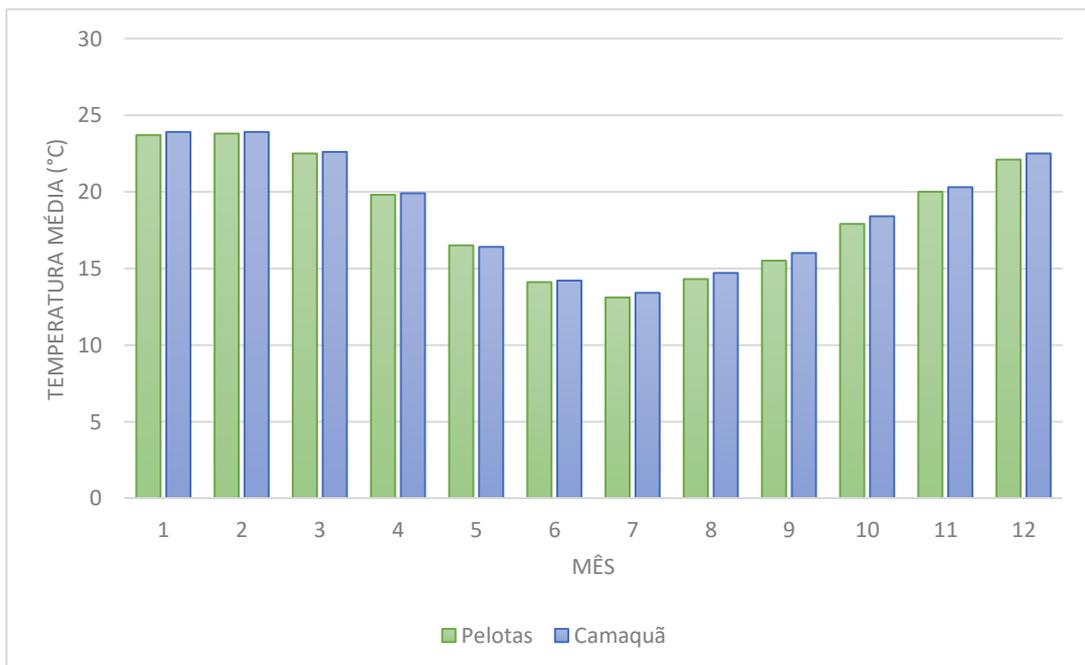
Figura 13 - Condições de conforto térmico para Camaquã-RS



Fonte: PROJETEEEE, 2022.

A cidade de Camaquã possui um comportamento térmico bastante semelhante a Pelotas, onde o mês que possui maior temperatura média é fevereiro com 23,9°C (23,7° em Pelotas) e o mês de menor temperatura média é junho com 13,4°C (13,1°C em Pelotas). A figura 14 apresenta a análise comparativa da temperatura média das duas cidades.

Figura 14 - Médias mensais de temperatura do ar (°C) de Pelotas – RS e Camaquã – RS



Fonte: Adaptado de Climate Data.org.

O sistema da plataforma nacional (PROJETEEEE) reconhece que a cidade de Pelotas – RS não possui arquivo climático e indica a utilização do arquivo climático da cidade mais próxima que é Canguçu – RS (Figura 15), cerca de 56,1 km de Pelotas.

Figura 15 - Recomendação de dados climáticos segundo o PROJETEEEE



Fonte: PROJETEEEE, 2022.

Em consonância, o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais (SiNAT) propõe que seja utilizado o arquivo climático da cidade de São Lourenço – MG como base para estudos na zona bioclimática 2.

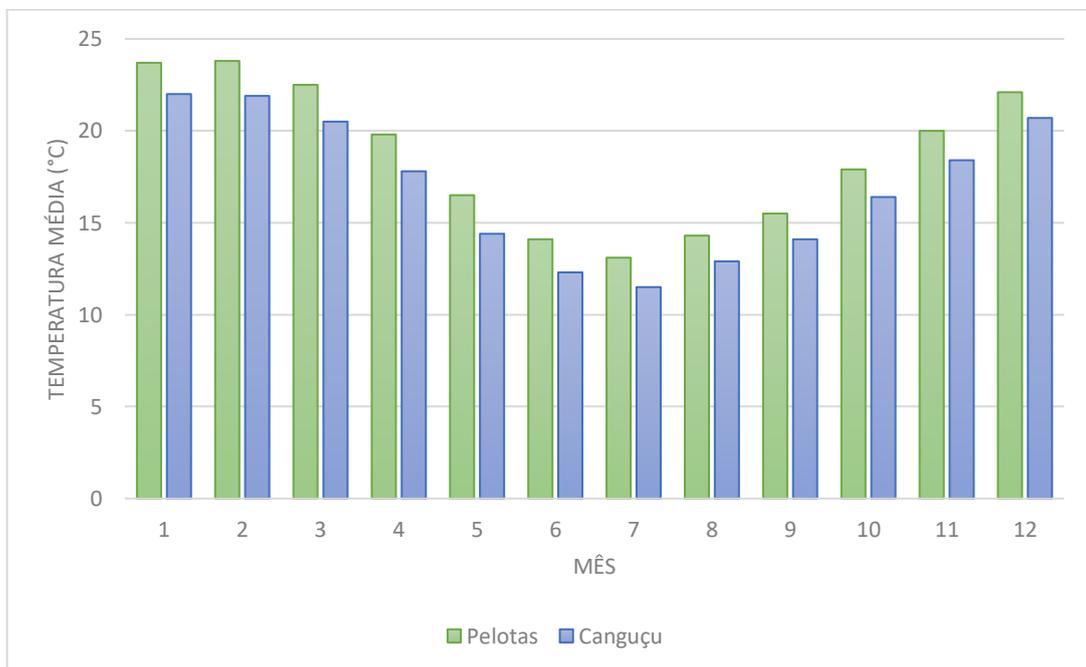
Entretanto, a utilização de Canguçu – RS ou São Lourenço – MG não se justifica, tendo em vista que a altitude das duas cidades é bem superior (Tabela 27), se comparada a cidade de Pelotas. Dessa forma, a figura 16 ainda demonstra que as temperaturas médias possuem uma diferença nos valores médios para cada mês entre Pelotas e Canguçu.

Tabela 27 - Coordenadas geográficas das cidades de Pelotas, Camaquã, Canguçu e São Lourenço

Cidade	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Pelotas - RS	31° 46' 34" Sul	52° 21' 34" Oeste	9
Camaquã - RS	30° 51' 5" Sul	51° 48' 46" Oeste	29
Canguçu - RS	31° 23' 44" Sul	52° 41' 11" Oeste	408
São Lourenço - MG	22° 07' 03" Sul	45° 3' 6" Oeste	874

Fonte: DB City.com.

Figura 16 - Médias mensais de temperatura do ar (°C) de Pelotas – RS e Canguçu – RS



Fonte: Adaptado de Climate Data.org.

A cidade de Canguçu tem o mês de janeiro com maior temperatura média com 22°C e o mês de julho com menor temperatura média, sendo 11,5°C. Nota-se a diferença dos meses de maior e menor temperatura média se comparado a Pelotas. A variação dos valores de média das temperaturas é mais expressiva e significativa entre Pelotas e Canguçu.

3.2.3 Medição *In Loco* da Temperatura do Ar Interno

A medição *in loco*, possui a finalidade de analisar o comportamento do desempenho térmico de uma edificação quando esta é submetida a contextos climáticos reais, sendo possível realizar o monitoramento climático das temperaturas por um determinado período (TURCATTO, 2017).

Dessa forma, foram definidos pontos de monitoramento para realização da análise da temperatura bulbo seco nos ambientes internos das Unidades Habitacionais (UH), onde foram instalados sensores de temperatura para verificar o comportamento térmico de cada UH e da edificação.

Os pontos de monitoramento foram selecionados com o intuito de abordar a mesma posição solar, compreendendo uma unidade em contato com o solo (térreo), uma unidade de pavimento tipo e uma unidade do pavimento de cobertura, totalizando assim a verificação em três apartamentos correspondentes ao condomínio em questão. À vista disso, foram arbitrados apartamentos com o mesmo final numérico, sendo eleitos apartamentos não habitados que estão em posse da construtora responsável pela execução do condomínio. Neste cenário, os apartamentos utilizados neste estudo, situam-se no bloco 02 do empreendimento (Figura 17), estando os sensores de temperatura localizados nos apartamentos 101, 201 e 501.

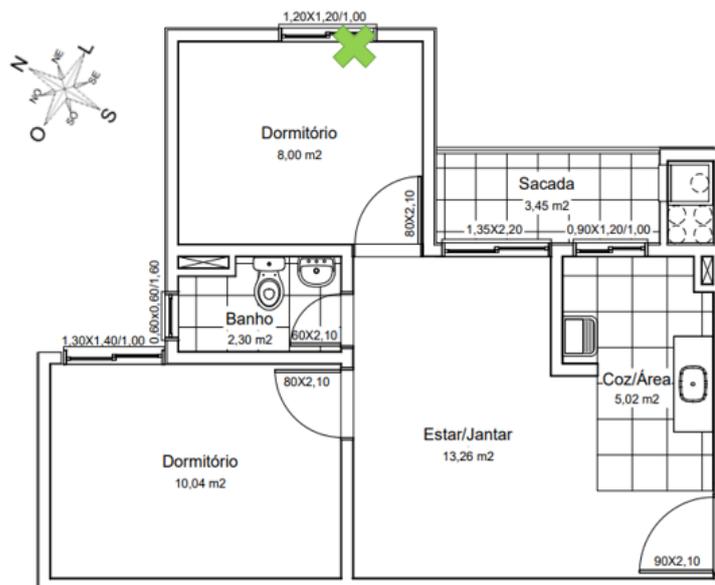
Figura 17 – Localização do bloco 02 do empreendimento (sem escala)



Fonte: Empresa construtora.

As verificações de temperatura do ar serão consideradas em dias representativos que demonstrem períodos de inverno e de verão que venham a ocorrer nos apartamentos, devendo-se analisar uma estimativa da média das temperaturas com o intuito de observar o comportamento térmico da UH, bem como do edifício como um todo. Cabe destacar que os apartamentos escolhidos para análise estavam desocupados durante toda a coleta de dados. Dessa forma, foram avaliadas cada UH de forma individual e posteriormente, foi realizado um comparativo entre cada apartamento, a fim de verificar como que as características de cada UH influenciam nos resultados de temperatura do ar, já que uma das unidades apresenta contato direto com o solo, a outra contato direto com a cobertura do edifício e, a outra UH, não apresenta nenhuma dessas influências, já que se encontra em contato com as lajes entrepisos. Assim, é possível notar a posição dos sensores de temperatura conforme determinação, no dormitório 2 de cada UH, representado na figura 18.

Figura 18 - Representação do ponto de medição em campo (sem escala)



A avaliação da temperatura de bulbo seco dos ambientes internos é possibilitada pela utilização de HOBBO *Data Loggers* da fabricante Onset, modelo U12-001 (Figura 19).

Figura 19 - HOBO U12-001 *Data Logger* da ONSET

Fonte: Autora (2023).

O equipamento apresenta precisão de $\pm 0,35$ °C para valores de temperatura do ar entre 0 a 50 °C (Figura 20). Os aparelhos foram programados para registrar a temperatura a cada 15 minutos, conforme Barbosa e Ghisi (2017).

Figura 20 - Especificações HOBO U12-001 *Data Logger* da ONSET

Measurement range	-20° to 70°C (-4° to 158°F)
Accuracy	$\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ from 0° to 50°C ($\pm 0.63^{\circ}\text{F}$ from 32° to 122°F), see Plot A
Resolution	0.03°C at 25°C (0.05°F at 77°F), see Plot A
Drift	0.1°C/year (0.2°F/year)
Response time	In airflow of 1 m/s (2.2 mph): 6 minutes, typical to 90%
Time accuracy	± 1 minute per month at 25°C (77°F), see Plot B
Operating temperature	Logging: -20° to 70°C (-4° to 158°F) Launch/readout: 0° to 50°C (32° to 122°F), per USB specification
Battery life	1 year typical use
Memory	64K bytes (43,000 12-bit measurements)
Weight	46 g (1.6 oz)
Dimensions	58 x 74 x 22 mm (2.3 x 2.9 x 0.9 inches)
CE	The CE Marking identifies this product as complying with all relevant directives in the European Union (EU).

Fonte: <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-001>

Os aparelhos foram instalados em um lugar estratégico, a fim de evitar a exposição direta à luz solar. Nesse sentido, cada sensor foi posicionado a uma altura de aproximadamente 2,15 metros com relação a laje de piso de cada pavimento avaliado, na parte superior da caixa da persiana da janela e para impedir o contato direto do equipamento com os perfis de alumínio que compõem o conjunto de janela, foi colocada fita dupla face envolta em fita crepe na parte de trás e na parte inferior de cada HOBO (Figura 21). Este cuidado foi tomado para evitar as possíveis influências do contato dos componentes de alumínio da janela com os sensores de temperatura.

Figura 21 - Instalação em campo dos sensores de temperatura



Fonte: Autora (2023).

Para realização das medições, foram utilizados três registradores de temperatura, os quais são identificados neste estudo conforme o número de identificação do selo de patrimônio.

Nesse cenário, com o objetivo de verificar os equipamentos que proporcionassem uma comparação com menor incerteza, foram dispostos seis registradores de temperatura em um dormitório fechado (Figura 22), sendo eles: 011890, 011893, 011895, 011897, 011924 e 011929, um ao lado do outro e

programados para medir a temperatura do ar interno local a cada 10 minutos, todos no mesmo horário. Este procedimento foi realizado antes e depois da utilização dos equipamentos em campo.

Figura 22 - Distribuição dos registradores de temperatura para análise de calibração



Fonte: Autora (2023).

Dessa forma, os aparelhos foram arranjados sobre um móvel do ambiente para efetuar a relação entre as medições de cada aparelho, em um local protegido, onde a janela do ambiente foi fechada para evitar a entrada da luz solar que poderia interferir diretamente nos resultados de medição, afastado de equipamentos e de movimentação de pessoas. Isto posto, os dados de temperaturas começaram a ser medidos e registrados por todos os sensores a partir das 14h do dia 01/02/2023 até às 23:50h do dia 11/02/2023, contabilizando 10 dias de análise, totalizando 8.574 registros.

Para investigar as variações nas medições entre os aparelhos para análise do período de verão, atribuiu-se o HOBO 011893 como referência para poder calcular as variações (Δ) ocorridas em cada intervalo de medição. Desse modo, os resultados das variações de temperatura entre o HOBO 011893 e o HOBO 011895 foi de $-0,04$ °C. Já a diferença observada entre o HOBO 011893 e o HOBO 011897 foi de $0,007$ °C. As variações de temperatura dos outros equipamentos com relação ao HOBO 011893 foram de $0,15$ °C para o HOBO 011890, $0,05$ °C para o HOBO

011924 e 0,20 °C para o HOBO 011929. Dessa forma, definiu-se que seriam utilizados os aparelhos com menor variação de temperatura com relação ao dispositivo de referência (HOBO 011893). Assim, foi estabelecido outra nomenclatura, de modo simplificado, atribuindo ao HOBO 011893 a identificação de HOBO 01, ao HOBO 011895 a identificação de HOBO 02 e ao HOBO 011897 como HOBO 03.

O HOBO 01 foi instalado no apartamento 101, o HOBO 02 foi instalado no 201 e o HOBO 03 foi instalado no 501. Para a análise dos resultados de verão foram aplicados os fatores de correção para a temperaturas medida nos sensores conforme a tabela 28 a seguir:

Tabela 28 - Fatores de correção dos valores de TBS medidos para o período de verão

Identificação do equipamento	Fatores de correção
HOBO 01	Referência
HOBO 02	+0,04 °C
HOBO 03	-0,007 °C

Após a utilização dos sensores de temperatura durante a análise do período de verão, foi efetuada nova leitura para verificar as variações de temperatura que seriam observadas, com o intuito de poder corrigir os dados das medições *in loco* caso fosse necessário. Dessa forma, a partir das 20h00 do dia 28/05/2023 até 18h00 do dia 01/06/2023 foram medidas as temperaturas em cada instrumento, sendo registradas 565 leituras em cada aparelho, totalizando 1.695 leituras em 4 dias de análise. Os registros foram realizados a cada 10 minutos.

De forma análoga a verificação para o verão, o período de inverno teve como *datalogger* de referência o HOBO 01 para calcular as variações (Δ) ocorridas em cada intervalo de medição. Logo, os resultados das variações de temperatura entre o HOBO 01 e o HOBO 02 foi de -0,06 °C, sendo o mesmo valor encontrado para as variações analisadas entre o HOBO 01 e 03.

Assim, para a análise dos resultados de inverno foram aplicados os fatores de correção para a temperaturas medida nos sensores conforme a tabela 29 a seguir:

Tabela 29 - Fatores de correção dos valores de TBS medidos para o período de inverno

Identificação do equipamento	Fatores de correção
HOBO 01	Referência
HOBO 02	+0,06 °C
HOBO 03	-0,06 °C

Para analisar as variações de temperatura do ar interno no período de verão, o primeiro ciclo de medições foi realizado durante 40 dias, entre o dia 13/02/23 até o dia 24/03/23. Para verificar as modificações no período de inverno, foram coletados os dados de medição de temperatura entre os dias 02/06/2023 até o dia 11/07/2023.

O início da leitura dos dados para o período de verão foi programado para o dia 13/02/2023 às 20h00min e a finalização ocorreu no dia 24/03/2023 às 09h00min. Para o período analisado, não foi possível realizar a análise em apartamentos com orientação solar nordeste ou que tivesse janela voltada para oeste, tendo em vista a disponibilidade dos usuários das Unidades Habitacionais (UH) para a realização desta pesquisa. Dessa forma, foi determinado três apartamentos com orientação solar de fachada principal leste, o qual recebe incidência solar maior no período da manhã. As UHs foram escolhidas porque não possuem usuários residindo, então foi possível desconsiderar a interferência nas medições do comportamento do usuário e padrão de uso e ocupação dos APPs (Iluminação, condicionadores de ar, equipamentos eletrônicos, assim como emprego da ventilação natural).

Após o período de coleta de dados em campo realizada com os HOBOWare *Data Loggers* para cada pavimento analisado do Bloco 02 – unidades 101 (HOBO 01), 201 (HOBO 02) e 501 (HOBO 03) – a leitura dos dados foi efetuada pelo *software* HOBOWare, o qual é um programa disponibilizado pelo fabricante dos sensores de temperatura, que possui versão gratuita para análise. Através do programa foi

estruturado inicialmente qual seria o horário de início de coleta dos dados e qual seria o tempo entre leituras de cada registro. Ao finalizar o período de análise, houve o processamento dos dados no HOBOWare e os dados foram exportados para o *software* Excel para efetuar a análise do conjunto de leituras.

Para a análise no período de inverno, o início da leitura dos dados foi programado para o dia 02/06/2023 às 20h00min e a finalização ocorreu no dia 11/07/2023 às 09h00min. Assim, foram considerados os mesmos apartamentos e locais de instalações dos sensores que já haviam sido pré-definidos para a análise do período de verão. Dessa forma, foram avaliados os três apartamentos com orientação solar de fachada principal leste, o qual recebe incidência solar maior no período da manhã. As Unidades Habitacionais (UH) estão localizados no bloco 02 do empreendimento, sendo avaliados os apartamentos 101, 301 e 501.

Todos os apartamentos continuaram apresentando as mesmas características do momento em que foram analisados durante o verão, sendo possível efetuar as medições sem a influência do comportamento do usuário e padrão de uso e ocupação dos APPs (Iluminação, condicionadores de ar, equipamentos eletrônicos, assim como emprego da ventilação natural), já que nenhuma UH possui usuários residindo.

A disposição dos sensores de temperatura foi idêntica ao adotado para análise de verão, onde o HOBOW 01 ficou alocado na UH 101, o HOBOW 02 na UH 201 e o HOBOW 03 na UH 501. Após o período de coleta de dados supracitados anteriormente, foi realizada a leitura dos dados através do *software* HOBOWare, onde foram gerados arquivos .csv para tratamento dos dados no *software* Excel para realização da interpretação dos dados através do conjunto de leituras.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo evidencia a análise dos resultados e discussões desta pesquisa. Serão abordados os resultados relativos à avaliação de desempenho térmico através do método simplificado para duas versões da NBR 15575, assim como a simulação de desempenho térmico. Nesta perspectiva, também serão apresentados os valores medidos *in loco* para as estações extremas do ano (verão e inverno).

4.1 PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO DA NBR 15575:2013

Para determinar se um edifício atende aos critérios de desempenho térmico pelo método simplificado, deve-se avaliar as propriedades térmicas dos materiais empregados nas paredes, cobertura, bem como verificar a área de ventilação das janelas destinadas a cada Ambiente de Permanência Prolongada (APP). Dessa forma, verificam-se os itens de capacidade térmica das paredes (CT), transmitância térmica das paredes e da cobertura (U), assim como a porcentagem de ventilação existente no APP analisado.

Neste contexto, é necessário averiguar as propriedades térmicas do modelo segundo os valores de referência que a NBR 15575 apresenta, onde deve ser considerado a zona bioclimática em que a edificação está inserida para assim ser possível avaliar o nível de desempenho térmico. A tabela 30 apresenta os critérios necessários para atender os parâmetros de CT_{par} , U_{par} e U_{cob} da norma de desempenho, para a Zona Bioclimática 2 – ZB onde a edificação está inserida – e também apresentará as propriedades térmicas dos materiais para análise de desempenho térmico pretendida.

Tabela 30 - Avaliação das propriedades térmicas da parede e cobertura para ZB2

Componente	Transmitância Térmica U (W/m ² .K)		Capacidade Térmica CT (kJ/m ² .K)	
	Critério	Resultado	Critério	Resultado
Parede	≤ 2,70	1,96	≥ 130	245
Cobertura	≤ 2,30	2,06	-	-

Compete evidenciar que o item de capacidade térmica para cobertura não é uma exigência da norma, então não é avaliado. A tabela 29 aponta que as propriedades térmicas dos sistemas construtivos avaliados atendem aos critérios de U e CT necessários para ZB2 e estão representados em verde na tabela, indicando o correto alcance necessário.

Outro critério necessário para avaliação pelo método simplificado é a avaliação das áreas efetivas de ventilação natural das Unidades Habitacionais (UH). Desse modo, caso as janelas possuam dispositivos de sombreamento (persianas ou venezianas) e possuam caixa de recolhimento para cortina, essa área necessariamente deve ser descontada para fins de cálculo efetivo. Nesse sentido, os cálculos realizados para avaliação da porcentagem de ventilação natural foram realizados considerando o desconto da área da caixa de recolhimento para os dormitórios que possuem janela com persiana integrada. Os outros cômodos não possuem nenhum tipo de sistema de sombreamento. A tabela 31 apresenta os valores calculados para cada APP, bem como os critérios de referência da norma de desempenho para a ZB2.

Tabela 31 - Avaliação do percentual de abertura para ventilação das unidades habitacionais

Blocos 02, 03, 04, 06 e 07	Apartamentos Final 01 e 04				
	APP	Área de Janela (m ²)	Área de Ventilação (m ²)	Área Útil do Ambiente (m ²)	% Ventilação (>7%)
	Dormitório 1 (10,04 m ²)	1,82	0,637	10,04	6,34
	Dormitório 2 (8,00 m ²)	1,44	0,504	8,00	6,30
	Estar/Jantar – Cozinha	4,02	1,608	18,28	8,79
	Apartamentos Final 02 e 03				
	APP	Área de Janela (m ²)	Área de Ventilação (m ²)	Área Útil do Ambiente (m ²)	% Ventilação (>7%)
	Dormitório 1 (10,04 m ²)	1,82	0,637	10,04	6,34
	Dormitório 2 (8,00 m ²)	1,44	0,504	8,00	6,30
	Estar/Jantar – Cozinha	3,06	1,224	18,28	6,69

Como as janelas são compostas por duas folhas de correr, a área máxima de ventilação é composta por 50% do valor total da área da janela. Entretanto, compete ressaltar que é necessário descontar também a área dos perfis da janela que diminuem a incidência de ventilação quando uma folha está sobre a outra. Nessa perspectiva, as janelas da sala de estar/jantar e cozinha possuem área de ventilação de 40% e nos dormitórios esse valor reduzido para 35% por conta de existência da caixa de recolhimento da persiana.

Ao analisar a tabela 30 para os apartamentos com final 01 e 04, nota-se que a porcentagem de ventilação natural para os dois dormitórios da UH não é o suficiente, deve atender ao critério $>7\%$ para a ZB2. Assim, apenas o conjunto porta janela sala de estar/jantar e janela cozinha atenderam com folga ao item da norma de desempenho. Em contrapartida, nos apartamentos com final 02 e 03, a situação é ainda mais crítica, tendo em vista que nenhum APP atendeu ao critério da NBR 15575.

Apesar das propriedades térmicas das paredes e cobertura atenderem aos critérios evidenciados pela NBR 15575, a avaliação do percentual de área efetiva para ventilação natural não atendeu as exigências. Desse modo, conforme a norma de desempenho, a edificação deve ser avaliada necessariamente por simulação computacional para verificar qual o nível de desempenho que a edificação irá alcançar.

4.2 PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO DA NBR 15575:2021

A análise do método simplificado da NBR 15575 (ABNT, 2021a), de modo geral, avalia os mesmos critérios da versão de 2013, considerando as propriedades térmicas dos materiais para paredes e cobertura – transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) – e o percentual de abertura para ventilação. Compete evidenciar que os valores representativos para avaliação de cada item não foram alterados para a Zona Bioclimática 2 (ZB 2). Dessa forma, a principal modificação verificada na revisão de 2021 foi a inclusão da avaliação dos elementos transparentes dos Ambientes de Permanência Prolongada (APP). Neste contexto, a tabela 32 apresenta a avaliação do percentual de elementos transparentes para o empreendimento em análise.

Tabela 32 - Avaliação do percentual de elementos transparentes dos APP

Blocos 02, 03, 04, 06 e 07	Apartamentos Final 01 e 04			
	APP	$A_{t,APP}$ (m ²)	$A_{p,APP}$ (m ²)	$P_{t,APP}$ ($\leq 20\%$)
	Dormitório 1 (10,04 m ²)	1,13	10,04	11,25
	Dormitório 2 (8,00 m ²)	0,84	8,00	10,50
	Estar/Jantar – Cozinha	3,15	18,28	17,23
	Apartamentos Final 02 e 03			
	APP	$A_{t,APP}$ (m ²)	$A_{p,APP}$ (m ²)	$P_{t,APP}$ ($\leq 20\%$)
	Dormitório 1 (10,04 m ²)	1,13	10,04	11,25
	Dormitório 2 (8,00 m ²)	0,84	8,00	10,50
	Estar/Jantar – Cozinha	2,44	18,28	13,34

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021a), o percentual de elementos transparentes deve ser $\leq 20\%$ para os APP e conforme a tabela 31, todos os ambientes atenderam ao requisito necessário.

Contudo, como deve ser considerado os itens anteriormente avaliados e detalhados no item 4.1 desta pesquisa, nota-se que nem todos os critérios para atendimento de desempenho térmico mínimo da norma foram alcançados. Dessa forma, a tabela 33 aborda todos os itens necessários para avaliação do método simplificado da NBR 15575 (ABNT, 2021a) e apresenta quais itens não foram satisfeitos.

Tabela 33 - Critério para avaliação pelo procedimento simplificado da NBR 15575:2021

Requisito	Atendeu?
Paredes: transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT)	Sim
Cobertura: transmitância térmica (U)	Sim
Percentual de Abertura para Ventilação ($P_{V,APP}$)	Não
Percentual de elementos transparentes para os APP ($P_{t,APP}$)	Sim

Como o requisito relativo ao Percentual de Abertura para Ventilação (PV_{APP}) não atendeu ao valor correspondente para a maioria dos APP, a norma de desempenho orienta que deve ser realizado o procedimento de simulação computacional para verificar qual nível de desempenho o empreendimento irá alcançar.

4.3 PROCEDIMENTO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA NBR 15575:2013

Como a análise pelo procedimento simplificado da NBR 15575 (ABNT, 2013a) não atendeu aos critérios estabelecidos para o método, bem como não permitiu a classificação de atendimento de desempenho térmico, foi necessário efetuar a verificação de nível de desempenho através do procedimento de simulação computacional. Nessa perspectiva, compete evidenciar que a norma recomenda o emprego da modelagem computacional para os casos em que não seja possível atender apenas com o método simplificado.

Esta pesquisa considera a edificação já implantada, conforme a localização do empreendimento real. Ao considerar a posição solar da implantação do condomínio objeto de estudo, foi verificadas as condições críticas do ponto de vista térmico para cada estação e dessa maneira foram arbitrados apartamentos para efetuar as simulações. As condições críticas do ponto de vista térmico apresentam a seguinte disposição:

- **Dia Típico de Verão:** para a análise, deve-se considerar um Ambiente de Permanência Prolongada (APP) que possuir janela voltada a fachada oeste e ao menos uma parede com fachada orientada para norte;
- **Dia Típico de Inverno:** a janela deve estar posicionada para a fachada sul da edificação e ao menos uma parede deve estar voltada para a fachada leste.

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013a), o ambiente escolhido para avaliação deve possuir o maior número de paredes expostas à radiação solar, sendo

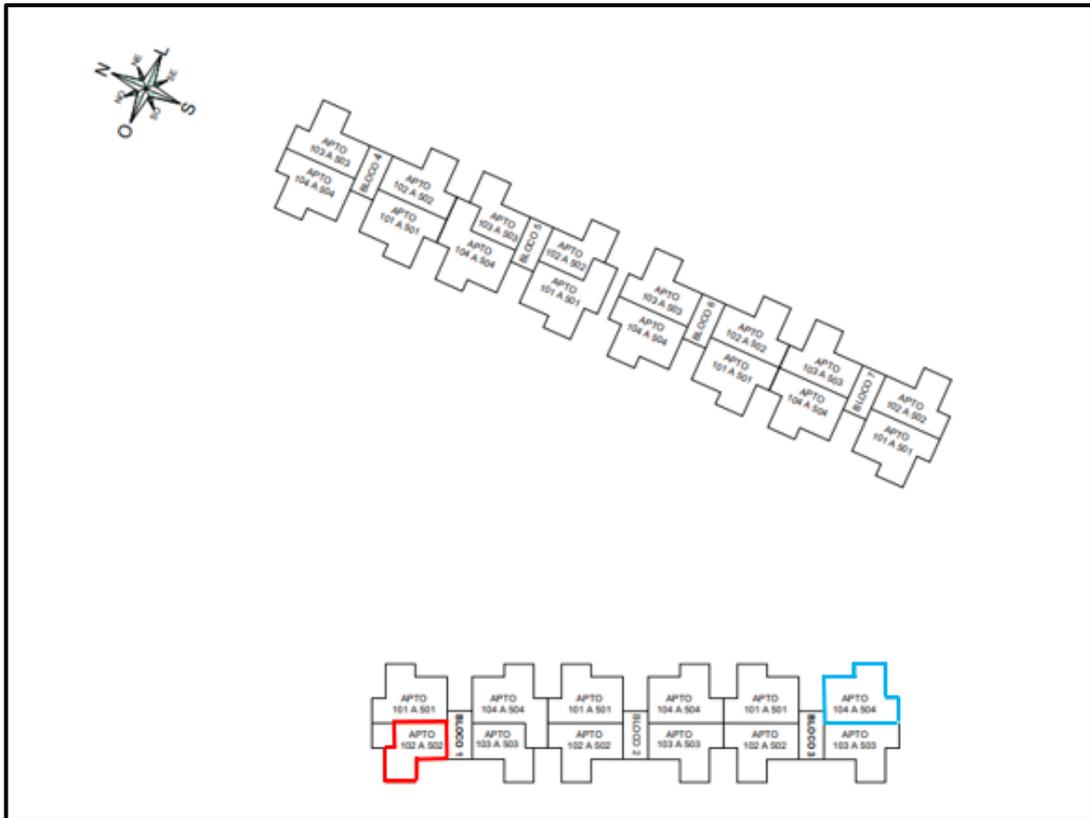
determinado o APP (sala de estar/dormitório) que possuir essas características. Então, para análise do dia típico de verão, foi considerado o apartamento 502 do Bloco 01, que possui cobertura exposta e em todos os Ambientes de Permanência Prolongada (APPs) as janelas possuem orientação oeste, cabendo evidenciar que desse modo as aberturas recebem radiação solar com incidência direta durante todo o ano, onde há paredes voltadas a norte nos dois dormitórios, expondo a situação crítica de verão para o apartamento em questão, já que não há nenhum prédio ao lado desse apartamento e ele recebe sol durante todo o período vespertino (sol da tarde).

Para análise do dia típico de inverno, foi determinado o apartamento 504 do Bloco 03. Apesar de não haver nenhuma janela posicionada a sul no empreendimento, os APPs dessa UH possuem paredes voltadas a leste e sul, sendo a situação mais crítica para o ponto de vista térmico no período de inverno, recebendo incidência solar maior durante o período da manhã. Compete evidenciar que as janelas do apartamento estão orientadas para a fachada leste do prédio analisado.

Tendo em vista que a NBR 15575 (ABNT, 2013a) só apresenta dados de dias típicos de verão e de inverno para as capitais de cada estado do país e que Pelotas situa-se no interior do estado do Rio Grande do Sul, a definição da referência do dia típico de verão e dia típico de inverno foi realizada considerando o estudo de Milan (2015), onde foi definida a temperatura externa máxima anual para o período de verão e a temperatura externa mínima anual para o período de inverno, estabelecendo-se como dia típico de verão o dia 10 de janeiro e dia típico de inverno o dia 17 de junho. Em consonância, concerne evidenciar que a NBR 15575 (ABNT, 2013a) não apresentava valores de dias típicos base para nenhuma cidade situada na zona bioclimática 2.

A figura 23 apresenta a implantação do empreendimento, representando quais as unidades avaliadas para cada estação. Cabe ressaltar que a UH em vermelho foi avaliada para análise do dia típico de verão e a UH em azul considerada para verificação do dia típico de inverno.

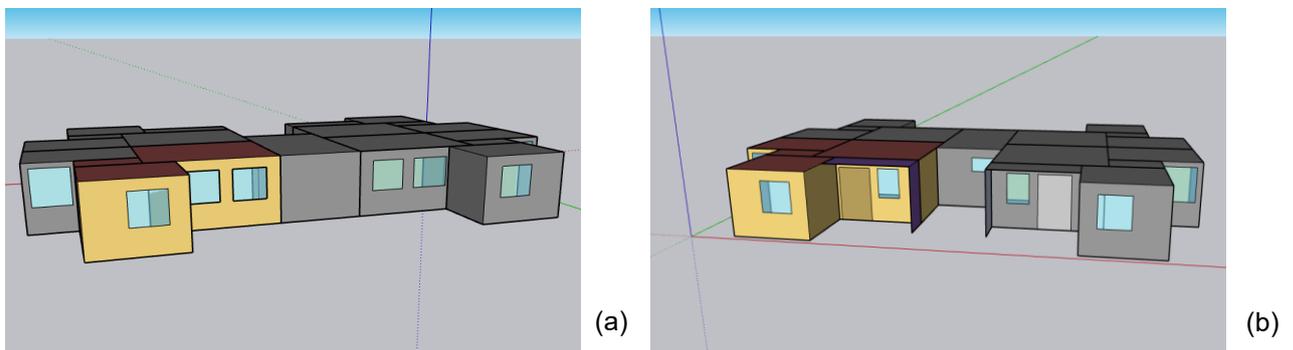
Figura 22 - Unidades habitacionais utilizadas para simulação computacional (sem escala)



4.3.1 Avaliação de Desempenho Térmico da Edificação

A simulação computacional foi efetuada levando em consideração as duas unidades consideradas como pontos críticos de análise (502, Bloco 01 e 504, Bloco 03). Dessa forma, como cada ambiente fechado possui um comportamento específico, foram divididos em 3 zonas térmicas a Unidade Habitacional (UH) 502 e 4 zonas térmicas a UH 504. A figura 24 apresenta a posição dos dois apartamentos simulados.

Figura 23 – Representação do apartamento 502 do Bloco 01 (a); Representação do apartamento 504 do Bloco 03 (b).



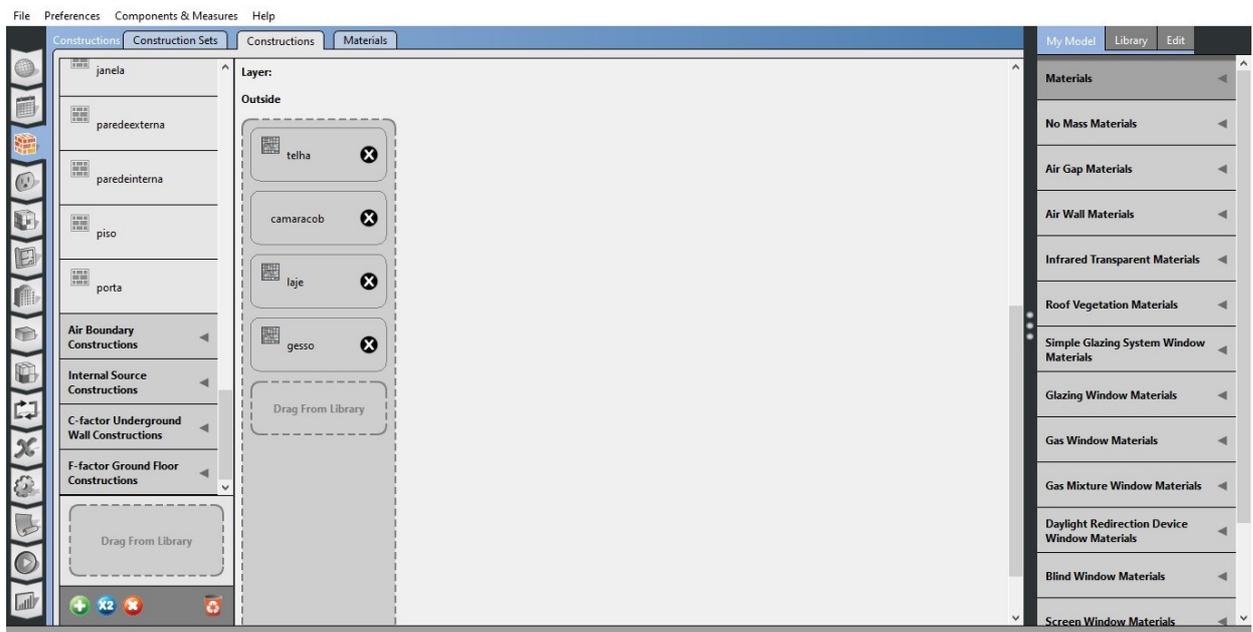
A figura 24a não possui nenhum tipo de sombreamento empregado, já que a UH (502, Bloco 01) não dispõe de sacada com churrasqueira. Por outro lado, a figura 24b evidencia a utilização de dispositivos de sombreamento, tendo em vista que no apartamento 504 do Bloco 03 os elementos construtivos projetam sombra às aberturas do APP sala de estar/cozinha, protegendo da incidência de radiação solar direta a porta janela da sala de estar e à janela da cozinha, já que o local possui sacada com churrasqueira.

Compete evidenciar que a NBR 15575 (ABNT, 2013a) não considera a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas e outros equipamentos em geral), então esses elementos não foram considerados para avaliação segundo o procedimento de simulação computacional para esse caso.

Após efetuar a modelagem computacional no *SketchUP* com o *plug-in OpenStudio*, foi utilizada a funcionalidade *Launch OpenStudio* para configurar todas

as propriedades térmicas da envoltória. Dessa forma, no item “*materials*” foram explicitadas todas as propriedades térmicas dos materiais, em “*construction*” foram inseridas todas as camadas do sistema construtivo, em “*thermalzones*” foram criadas as 4 zonas analisadas para cada caso e em “*spaces*” foram renomeados os ambientes para facilitar a identificação, bem como incluído a designação de cada zona correspondente. A figura 25 apresenta a construção do item cobertura no *OpenStudio*.

Figura 24 - Construção das camadas do item cobertura no *OpenStudio*



Desse modo, assim como o item cobertura, as paredes externas, paredes internas, piso, janelas e portas foram inseridas no *software* para compor a envoltória representativa do modelo. Assim, após inserção de todos os dados necessários para análise e verificado em “*run simulation*” se não havia erros graves no modelo, foi efetuada a exportação do arquivo “.idf” para configurar o arquivo através do *software EnergyPlus*.

O *OpenStudio* gera algumas classes de objetos durante a modelagem que não precisam ser utilizadas para efetuar a avaliação de desempenho e por esse

motivo algumas classes foram excluídas no *EnergyPlus* para gerar a análise para cada dia típico em questão.

4.3.1.1 Análise para o Período de Verão

A simulação computacional para o período de verão, no apartamento 502 do Bloco 01, foi realizada considerando os sombreamentos existentes na janela do dormitório. Para a simulação individual de cada cômodo foi considerada a existência das zonas térmicas, conforme a figura 26.

Figura 25 - Zonas térmicas do apartamento 502 do bloco 01



A situação mais crítica do ponto de vista térmica é composta por janela do APP voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte, ou então, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para oeste. Desse modo, as zonas 01 e 03 possuem a condição necessária para avaliação do dia típico de verão, conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013a).

Para análise do dia típico de verão o critério utilizado é de que o APP deve apresentar valores diários máximos de temperaturas internas menores ou iguais aos valores máximos de temperatura externa para que o nível de desempenho mínimo seja alcançado. Se o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação for menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, acrescido de $- 2^{\circ}\text{C}$, então o nível de desempenho alcançado é o intermediário. Por fim, se o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação for menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, acrescido de $- 4^{\circ}\text{C}$, então o nível de desempenho alcançado é o superior. Isto posto, a tabela 34 apresenta os resultados encontrados para análise do dia típico de verão em 10 de janeiro.

Tabela 34 - Simulação térmica do apartamento 502, bloco 01 para o período de verão

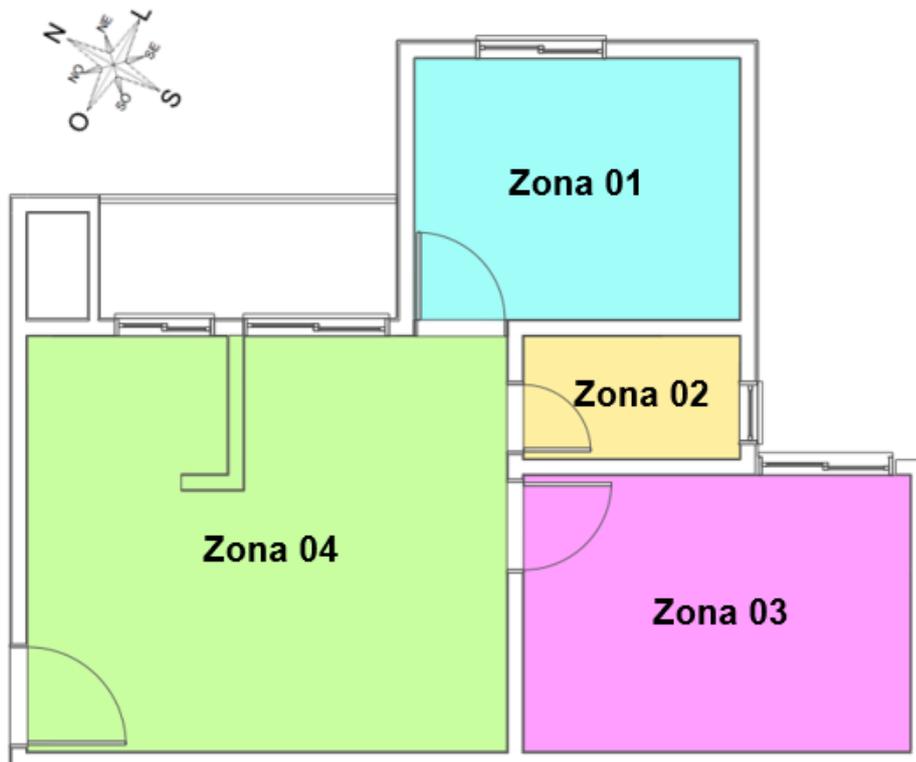
APP	Temperatura Externa de Referência Verão ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura Interna no Verão ($^{\circ}\text{C}$)	Classificação de Desempenho
Dormitório	35,5	35,3	Mínimo
Estar/Jantar – Cozinha	35,5	35,4	Mínimo

No contexto mais crítico, a diferença de temperatura observada entre o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação com relação ao valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação foi de $0,1^{\circ}\text{C}$. Assim, a simulação computacional do dia típico de verão apresentou nível de desempenho mínimo, já que a temperatura interna de verão foi praticamente igual a temperatura externa de referência, onde a amplitude térmica diária entre os pontos de temperatura do ar interno máxima e mínima foi de $4,8^{\circ}\text{C}$ para a sala de estar/jantar e cozinha.

4.3.1.2 Análise para o Período de Inverno

Para verificar o dia típico de inverno, a análise foi realizada no apartamento 504 do Bloco 03, já que a orientação solar dessa Unidade Habitacional (UH) é a mais crítica do ponto de vista térmico. Assim, mesmo que não haja nenhuma janela voltada à sul, existem paredes nessa UH voltadas a sul e janela voltada à leste, por conta disso, optou-se por avaliar esse local. A figura 27 mostra as zonas térmicas da UH analisada.

Figura 26 - Zonas térmicas do apartamento 504 do bloco 03



Para análise do dia típico de inverno o critério utilizado é de que o APP deve apresentar valores diários mínimos de temperaturas internas maiores ou iguais aos valores mínimos de temperatura externa, acrescido de + 3°C, para que o nível de desempenho mínimo seja alcançado. Logo, se o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação for maior ou igual ao valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, acrescido de + 5°C, então o nível de

desempenho alcançado é o intermediário. Já se o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação for maior ou igual ao valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, acrescido de + 7°C, então o nível de desempenho alcançado é o superior. Isto posto, a tabela 35 apresenta os resultados encontrados para análise do dia típico de inverno em 17 de junho.

Tabela 35 - Simulação térmica do apartamento 504, bloco 03 para o período de inverno

APP	Temperatura Externa de Referência Inverno (°C)	Temperatura Interna no Inverno (°C)	Classificação de Desempenho
Dormitório 01	1,2	7,5	Intermediário
Dormitório 02	1,2	6,1	Mínimo
Estar/Jantar – Cozinha	1,2	7,6	Intermediário

A diferença de temperatura observada entre o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação com relação ao valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação foi de 4,9°C. Assim, por esse motivo, a simulação computacional do dia típico de inverno apresentou nível de desempenho mínimo, onde a amplitude térmica diária entre os pontos de temperatura do ar interno máxima e mínima foi de 4°C. Os valores alcançados para o período de inverno são valores muito extremos para serem considerados aceitáveis e com nível de desempenho mínimo, haja vista a probabilidade alta de desconforto térmico que pode ser causado por temperaturas tão baixas aos indivíduos da UH.

4.3.2 Nível de Desempenho Térmico Alcançado pela Edificação

Conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013a), o dia típico de projeto deve ser determinado para o período de verão e de inverno separadamente, considerando à

orientação solar e os pontos mais críticos do ponto de vista térmico para cada situação.

Com base nas simulações realizadas, conclui-se que o desempenho geral da edificação é considerado mínimo. Essa conclusão é embasada nos resultados obtidos a partir da simulação do dia típico de verão, que demonstrou um nível mínimo de desempenho em todos os ambientes de permanência prolongada, assim como na simulação do dia típico de inverno, que resultou em um nível mínimo para o caso mais crítico analisado. Portanto, pode-se afirmar que o desempenho global da edificação é de nível mínimo.

Compete evidenciar que qualquer alteração no sistema construtivo pode acarretar em aumento ou perda no ganho de desempenho da edificação, tendo em vista que cada componente é elemento importante da envoltória, cabendo expor que os resultados alcançados valem apenas para a amostragem conforme os parâmetros apresentados nessa pesquisa, já que até a simples substituição da cor da fachada externa é capaz de alterar o padrão de absortância da edificação, e assim, podendo reduzir ou aumentar os valores dos resultados alcançados.

4.4 PROCEDIMENTO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA NBR 15575:2021

Em situação análoga ao procedimento simplificado da NBR 15575 (ABNT, 2013a), o novo procedimento simplificado da versão de 2021 também não atingiu os parâmetros aguardados para alcance dos níveis de desempenho da norma. De modo equivalente, deve-se então partir para o procedimento de simulação computacional para verificar o nível de desempenho.

4.4.1 Avaliação de Desempenho Térmico da Edificação

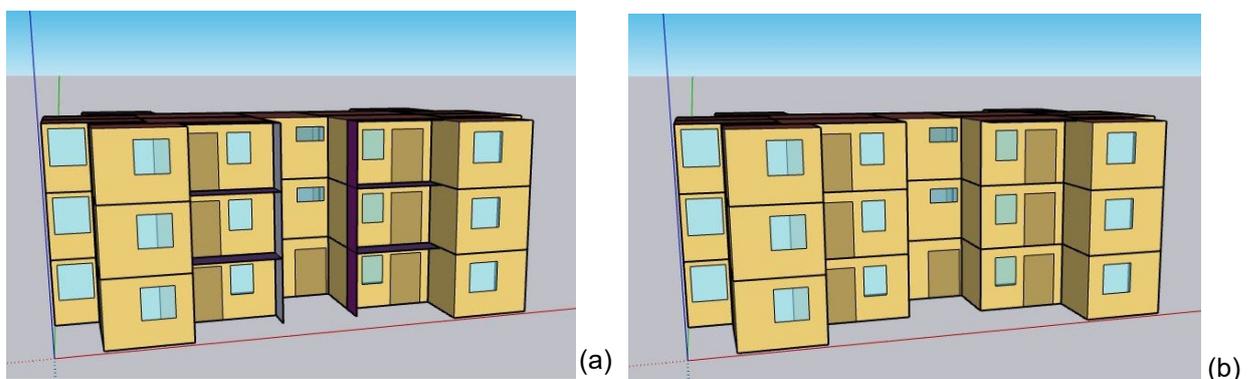
A avaliação de desempenho térmico considerando o comportamento térmico anual para análise da envoltória da edificação, deve ser elaborada realizando a modelagem computacional de dois modelos diferentes, sendo eles: modelo real e modelo de referência. O modelo real conserva todas as características da edificação, enquanto o modelo de referência utiliza o mesmo modelo geométrico do

edifício, mas considera as propriedades térmicas de referência que estão incluídas na NBR 15575 (ABNT, 2021a).

Para análise do nível mínimo de desempenho, ambos os modelos devem ser simulados considerando somente o uso da ventilação natural, dispensando a análise para situações condicionadas (emprego de ar condicionado). Caso seja pretendido o alcance intermediário ou superior, deve-se obrigatoriamente avaliar também as situações sem o uso da ventilação natural.

A NBR 15575 (ABNT, 2021a) expõe a necessidade de avaliar a edificação como um todo, não sendo mais possível avaliar apenas a Unidade Habitacional (UH) para verificar os níveis de desempenho térmico. Todavia, pode-se efetuar uma simplificação, onde é levado em consideração o pavimento térreo – para avaliar o contato com o solo – o pavimento de cobertura – para considerar as trocas de calor devido à radiação solar direta incidente no telhado (onde na versão 2013 era considerado como a situação mais crítica do ponto de vista térmico) e pode ser representado apenas um pavimento entre pisos, quando este é denominado tipo, não apresentando diferenças na disposição dos ambientes entre os pavimentos analisados, realizando assim um agrupamento de pavimentos idênticos. Portanto, decidiu-se simplificar o modelo visando otimizar a simulação, levando em conta a análise de 3 pavimentos. Dessa forma, a figura 28 apresenta o modelo de referência e o modelo real da edificação analisada.

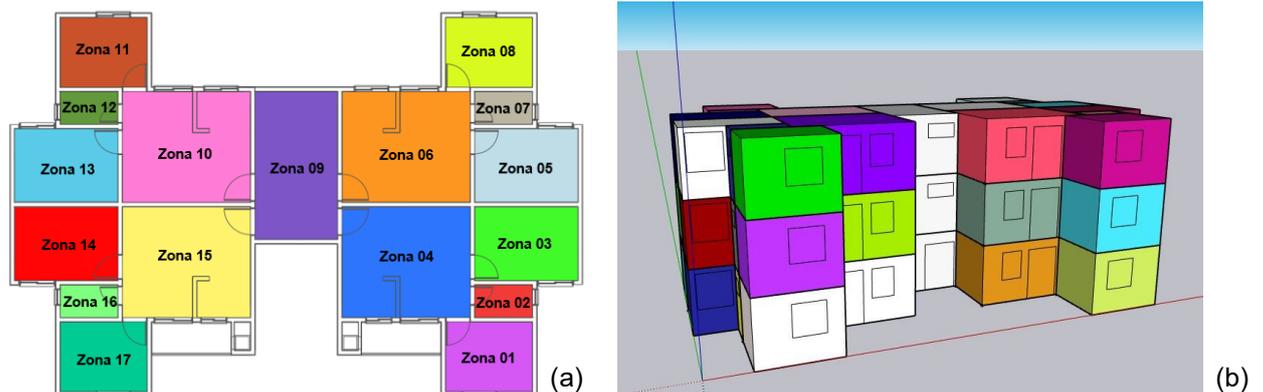
Figura 28 – Representação do modelo real (a); Representação do modelo de referência (b).



Cada modelo conta com 16 zonas térmicas por pavimento, sendo a zona 09 (Figura 29a) comum a todos os pavimentos e representada pela área de circulação vertical do prédio (escadaria e *hall* de acesso aos apartamentos). Esta zona é caracterizada como um Ambiente de Permanência Transitória (APT). Dessa forma, a modelagem computacional incluiu um total de 49 zonas térmicas para cada modelo simulado, o qual considerou três pavimentos da edificação analisada, sendo eles: pavimento térreo, pavimento tipo e pavimento de cobertura. Para ambos os modelos (referência e real) foram simulados modelos com o uso da ventilação natural e sem o uso da ventilação natural.

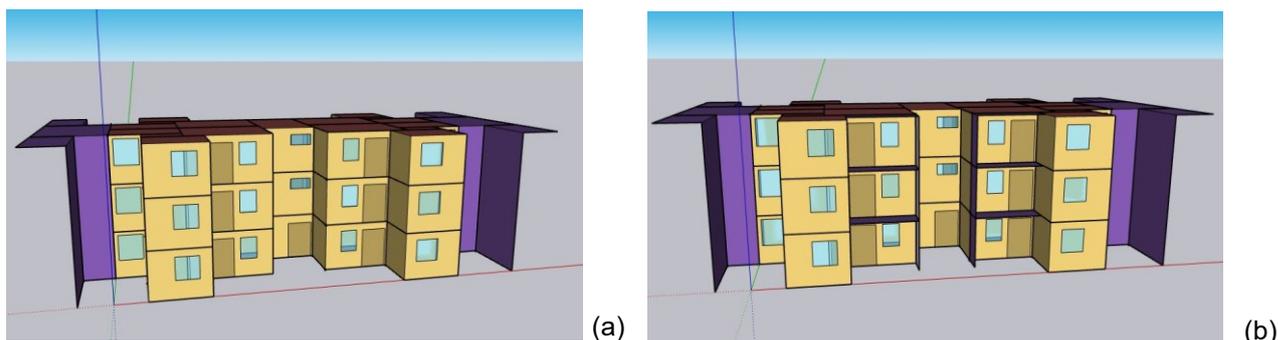
A disposição das zonas térmicas foi a mesma para os dois modelos efetuados, considerando cada ambiente como uma zona individual. Desse modo, a figura 29 apresenta a disposição das zonas térmicas por pavimento para os dois modelos simulados.

Figura 29 – Zonas térmicas da simulação em planta baixa (a); Zonas térmicas em 3D do modelo (b).



A NBR 15575 (ABNT, 2021a) evidencia a necessidade de considerar o entorno da edificação para o modelo real e de referência, de modo que ambos sejam idênticos, ponderando a influência que as edificações vizinhas resultam em termos de sombra e reflexão da radiação solar. Nesse sentido, foi considerado o Bloco 02 do empreendimento para análise e representados os sombreamentos causados pelo Bloco 01 e Bloco 03 sobre a edificação base para o modelo de referência (Figura 30a) e modelo real (Figura 30b).

Figura 30 – Entorno da edificação do modelo referência (a); Entorno da edificação do modelo real (b).



Compete destacar que a representação do entorno foi realizada de forma simplificada, para ser possível expor apenas os principais meios de sombreamento que afetam diretamente o Bloco 02 através das edificações vizinhas.

4.4.1.1 Modelo de Referência

Para análise do modelo de referência são considerados a volumetria do modelo real, alterando o percentual de elementos transparentes e de aberturas para ventilação, assim como as propriedades térmicas da envoltória. As tabelas 36, 37, 38, 39 e 40 apresentam as características que foram adotadas para o modelo de referência, conforme a NBR 15575 (ABNT, 2021a).

Tabela 36 - Propriedades térmicas de paredes e pisos para o modelo de referência

Elemento	Condutividade térmica W/(m.K)	Calor específico J/(kg.K)	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa	Densidade Kg/m ³
Paredes externas (100 mm)	1,75	1.000	0,58	0,90	2.200
Paredes internas (100 mm)	1,75	1.000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	2.200
Pisos (100 mm)	1,75	1.000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	2.200

Fonte: ABNT, 2021a.

Tabela 37 - Propriedades térmicas da cobertura para o modelo de referência

Elemento	Condutividade térmica W/(m.K)	Calor específico J/(kg.K)	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa	Densidade Kg/m ³
Telha com 6 mm de espessura	0,65	840	0,65	0,90	1.700
Laje com 100 mm de espessura	1,75	1.000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	2.200

Fonte: ABNT, 2021a.

Tabela 38 - Características dos elementos transparentes nas esquadrias para o modelo de referência

Elemento	Fator Solar (FS)	Transmitância Térmica (U_t) W/(m ² .K)	Percentual de elementos transparentes (P_{t,APP})
Elementos transparentes	0,87	5,70	17,00

Fonte: ABNT, 2021a.

Tabela 39 - Percentual de abertura para ventilação nas esquadrias para o modelo de referência

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

Fonte: ABNT, 2021a.

Tabela 40 - Características dos perfis das esquadrias para o modelo de referência

Elemento	Absortância à radiação solar dos perfis	Emissividade de onda longa dos perfis	Condutância térmica W/(m ² .K)	Largura dos perfis da esquadria mm
Perfis das esquadrias	0,58	0,90	56,00	50,00

Fonte: ABNT, 2021a.

Como o modelo de referência necessita que sejam adotados os valores reais de absorvância solar e emissividade de onda longa para alguns elementos, foram adotadas as mesmas características das propriedades térmicas do modelo real. Assim, para as paredes internas foi adotado absorvância solar de 0,34, com emissividade de onda longa 0,90. Para o piso laminado do modelo real foi adotado absorvância solar 0,5, com emissividade de onda longa 0,90. Para a representação da laje, foi adotado absorvância solar de 0,75 e emissividade de onda longa de 0,90.

A modelagem da ocupação e das cargas internas de iluminação artificial e equipamentos foi desenvolvida considerando o padrão de uso diário para os ambientes de permanência prolongada, apresentados na NBR 15575 (ABNT, 2021a). Os valores considerados para cada horário do dia estão discriminados no item 3.2.2.2.3 desta pesquisa. Para representar o contato com o solo do pavimento térreo, foi utilizado o método *FiniteDifference* do objeto *GroundDomain* do *software EnergyPlus* para o modelo de referência e analogamente para o modelo real.

O modelo de referência não deve considerar elementos de sombreamento externos fixos na fachada, tais como: brises e venezianas. Também, não são considerados sacadas para análise. Assim, para representar a edificação analisada, foram criadas 16 zonas por pavimento e a circulação vertical da edificação foi agrupada e modelada como um único ambiente como APT.

4.4.1.2 *Modelo Real*

O modelo real da edificação foi realizado considerando todas as características existentes na volumetria do edifício, assim como todos os elementos de sombreamento existentes. Dessa forma, como as janelas possuem venezianas nos dormitórios, esses elementos foram considerados, assim como foi modelado o sombreamento proveniente das sacadas na porta janela da sala de estar e na janela da cozinha.

Para realizar a análise do modelo real foram adotadas todas as propriedades térmicas dos materiais existentes na edificação para poder verificar a análise para comparar com o modelo de referência. A modelagem da ocupação e das cargas internas de iluminação artificial e equipamentos foi desenvolvida considerando o padrão de uso diário para os ambientes de permanência prolongada, apresentados na NBR 15575 (ABNT, 2021a). Os valores considerados para cada horário do dia estão discriminados no item 3.2.2.2.3 desta pesquisa. Para representar o contato com o solo do pavimento térreo, foi utilizado o método *FiniteDifference* do objeto *GroundDomain* do software *EnergyPlus* e foram adotadas as mesmas características para simular conforme o modelo de referência.

4.4.2 **Nível de Desempenho Térmico Alcançado pela Edificação**

Foram avaliados os resultados para o modelo de referência e o modelo real para o Percentual de Horas de Ocupação da Faixa de Temperatura Operativa (PHFT), o valor de Temperatura Operativa Anual Máxima (Tomáx), o valor de Temperatura Operativa Anual Mínima (Tomín) – por conta da UH estar situada na zona bioclimática 2, a avaliação desse item, tornou-se necessária – e a Carga Térmica Total (CgTT) de cada APP para posterior diagnóstico global da UH.

O número total de APP para cada pavimento avaliado foi 12, totalizando 36 APP verificados para inferir o resultado da análise do nível de desempenho térmico da edificação.

Os resultados para o pavimento térreo da edificação, considerando cada indicador necessário para a avaliação segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021a) estão expostos na tabela 41.

Tabela 41 - Resultados dos indicadores de desempenho para o pavimento térreo

Indicador	Modelo de Referência	Modelo Real
PHFT_{UH}	67%	69%
CgTR_{UH}	855 kWh	1.285 kWh
CgTA_{UH}	3.886 kWh	1.954 kWh
Tomáx,_{UH}	29,7 °C	30,8 °C
Tomín,_{UH}	0,0 °C	0,0 °C
CgTT_{UH}	4.741 kWh	3.239 kWh

O PHFT_{UH} do modelo real apresentou resultado superior a 90% do obtido para o modelo de referência, atendendo ao critério de atendimento ao nível mínimo da norma. O valor de CgTT_{UH} apresentou redução na carga térmica total do modelo real com relação ao modelo de referência (RedCgTT) de modo que o indicador atendeu ao nível superior. Para o item Tomín,_{UH}, o modelo atendeu o nível mínimo para o indicador. Entretanto, não foi possível alcançar nenhuma classificação para o indicador Tomáx,_{UH}. Este critério indica que a temperatura operativa anual máxima do modelo real deve ser igual ou inferior a temperatura operativa anual máxima do modelo de referência para a UH acrescido de até 1°C para o pavimento térreo. Conforme apresentado na tabela 41, foi obtido um valor de 29,7°C para o modelo de referência e 30,8°C para o modelo real (diferença = 1,1°C, que é maior que 1°C), assim não foi possível atender o critério Tomáx,_{UH} segundo a norma.

Nessa mesma perspectiva, foram avaliados os parâmetros necessários para verificação dos critérios para atendimento aos níveis de desempenho da norma para o pavimento entre pisos (pavimento tipo). Desse modo, a tabela 42 apresenta os valores obtidos para o modelo real e o modelo de referência para o pavimento tipo.

Tabela 42 - Resultados dos indicadores de desempenho para o pavimento tipo

Indicador	Modelo de Referência	Modelo Real
PHFT_{UH}	64%	68%
CgTR_{UH}	2.342 kWh	1.962 kWh
CgTA_{UH}	3.848 kWh	1.829 kWh
Tomáx_{,UH}	31,1 °C	31,2 °C
Tomín_{,UH}	0,0 °C	0,0 °C
CgTT_{UH}	6.190 kWh	3.791 kWh

Os valores atingidos para cada indicador de desempenho térmico atendem ao nível mínimo da NBR 15575 (ABNT, 2021a), sendo possível verificar que o parâmetro CgTT_{UH} apresenta a redução de carga térmica necessária para alcançar o nível intermediário no modelo avaliado. O indicador de desempenho Tomáx_{,UH} atendeu ao nível mínimo. A norma de desempenho requer que a temperatura operativa anual máxima do modelo real seja igual ou inferior à do modelo de referência para o pavimento tipo, com um acréscimo de até 2°C.

O último andar avaliado foi o pavimento de cobertura, onde também foram avaliados os parâmetros necessários para verificação dos critérios para atendimento aos níveis de desempenho da norma. Nesse sentido, a tabela 43 demonstra os indicadores de desempenho do pavimento de cobertura.

Tabela 43 - Resultados dos indicadores de desempenho para o pavimento de cobertura

Indicador	Modelo de Referência	Modelo Real
PHFT_{UH}	59%	61%
CgTR_{UH}	4.913 kWh	3.681 kWh
CgTA_{UH}	4.630 kWh	3.563 kWh
Tomáx_{,UH}	33,5 °C	32,7 °C
Tomín_{,UH}	0,0 °C	0,0 °C
CgTT_{UH}	9.543 kWh	7.244 kWh

De forma análoga ao pavimento tipo, os indicadores de desempenho para o pavimento de cobertura atenderam ao nível mínimo da NBR 15575 (ABNT, 2021a),

onde a $CgTT_{UH}$ atendeu ao nível intermediário. Apesar disso, o incremento de $PHFT_{UH}$ não alcançou o nível intermediário, resultando no atendimento apenas ao nível mínimo de desempenho para o pavimento tipo e o pavimento de cobertura. A figura 31 apresenta os resultados obtidos para cada indicador de desempenho para os pavimentos analisados.

Figura 31 – Resultados obtidos para o pavimento térreo (a); resultados obtidos para o pavimento tipo e pavimento de cobertura (b).

Níveis	Critério	Atendimento
MÍNIMO	PHFT UH	Atende ao Nível Mínimo
	Tomáx UH	Não atende ao Nível Mínimo
	Tomín UH	Atende ao Nível Mínimo
INTERMEDIÁRIO	PHFT UH	Não Atende ao Nível Intermediário
	CgTT UH	Atende ao Nível Intermediário
SUPERIOR	PHFT UH	Não Atende ao Nível Superior
	CgTT UH	Atende ao Nível Superior

(a)

Níveis	Critério	Atendimento
MÍNIMO	PHFT UH	Atende ao Nível Mínimo
	Tomáx UH	Atende ao Nível Mínimo
	Tomín UH	Atende ao Nível Mínimo
INTERMEDIÁRIO	PHFT UH	Não Atende ao Nível Intermediário
	CgTT UH	Atende ao Nível Intermediário
SUPERIOR	PHFT UH	Não Atende ao Nível Superior
	CgTT UH	Não Atende ao Nível Superior

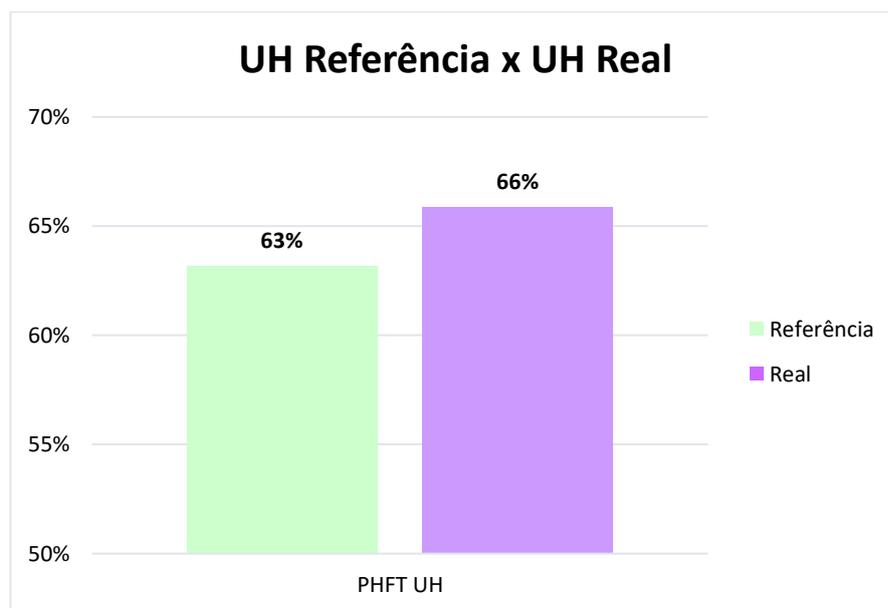
(b)

Fonte: planilha de indicadores LabEEE, 2020.

Para a avaliação global da edificação foram considerados os valores obtidos por cada pavimento, para o valor de $PHFT_{UH}$ e $CgTT_{UH}$ foram realizados os somatórios dos resultados alcançados e dividido pelo número de pavimentos (média aritmética simples) e para a determinação da $Tomáx_{,UH}$ da edificação, a norma determina que deve ser considerado o maior valor obtido em análise e para $Tomin_{,UH}$ deve ser adotado o menor valor alcançado na simulação.

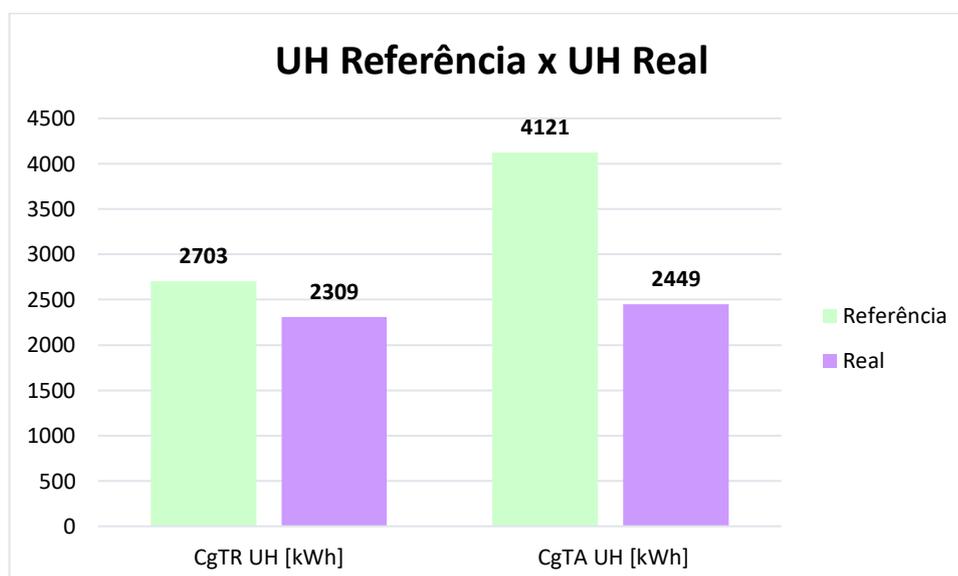
À vista disso, a figura 32 apresenta o $PHFT_{UH}$ da edificação para o modelo de referência e o modelo real, demonstrando que o valor alcançado para o indicador de desempenho atende ao nível mínimo da NBR 15575 (ABNT, 2021a).

Figura 32 – Resultado do $PHFT_{UH}$ do modelo real e do modelo de referência para a UH



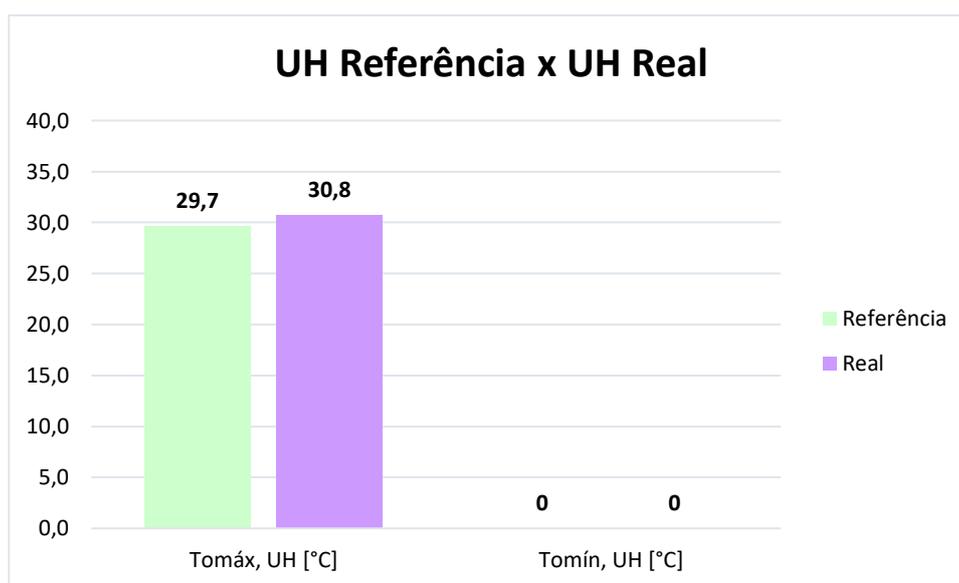
Em contrapartida, os resultados obtidos para o modelo de referência e o modelo real da edificação para o indicador de desempenho de $CgTR$ e $CgTA$ estão discriminados na figura 33. Assim, compete evidenciar o valor para esse índice atende ao nível intermediário da norma de desempenho em sua versão 2021.

Figura 33 – Resultado da $CgTR$ e $CgTA$ do modelo real e do modelo de referência para a UH



Todavia, embora o indicador Tomín tenha alcançado o critério para atendimento ao nível mínimo da norma, os valores apresentados nos modelos real e de referência não condizem com situações de conforto térmico para os seus usuários, levando em consideração que a temperatura de 0°C é um valor de extremo frio, sendo necessário estratégias de aquecimento para o ambiente não causar tanto desconforto térmico.

Figura 34 – Resultado da Tomáx e Tomín do modelo real e do modelo de referência para a UH



Assim, pôde-se constatar que embora a edificação tenha alcançado resultado de nível mínimo segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013a), na versão 2021, a edificação não atendeu os critérios necessários para alcance dessa mesma classificação por somente 0,1°C relativo ao valor de Tomáx para o pavimento térreo, sendo todos os outros indicadores devidamente alcançados para todos os pavimentos.

4.5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES *IN LOCO*

A verificação da temperatura interna do ar ou Temperatura de Bulbo Seco (TBS) foi executada em dois períodos, pretendendo abordar dados do intervalo correspondente a estação de verão e outro que acometesse o período de inverno. Dessa forma, foram efetuadas leituras a cada 15 minutos, durante um intervalo de 40 dias para cada estação do ano, realizando 3701 leituras em cada sensor de temperatura, sendo no total 11.103 leituras a cada estação do ano avaliada (verão e inverno).

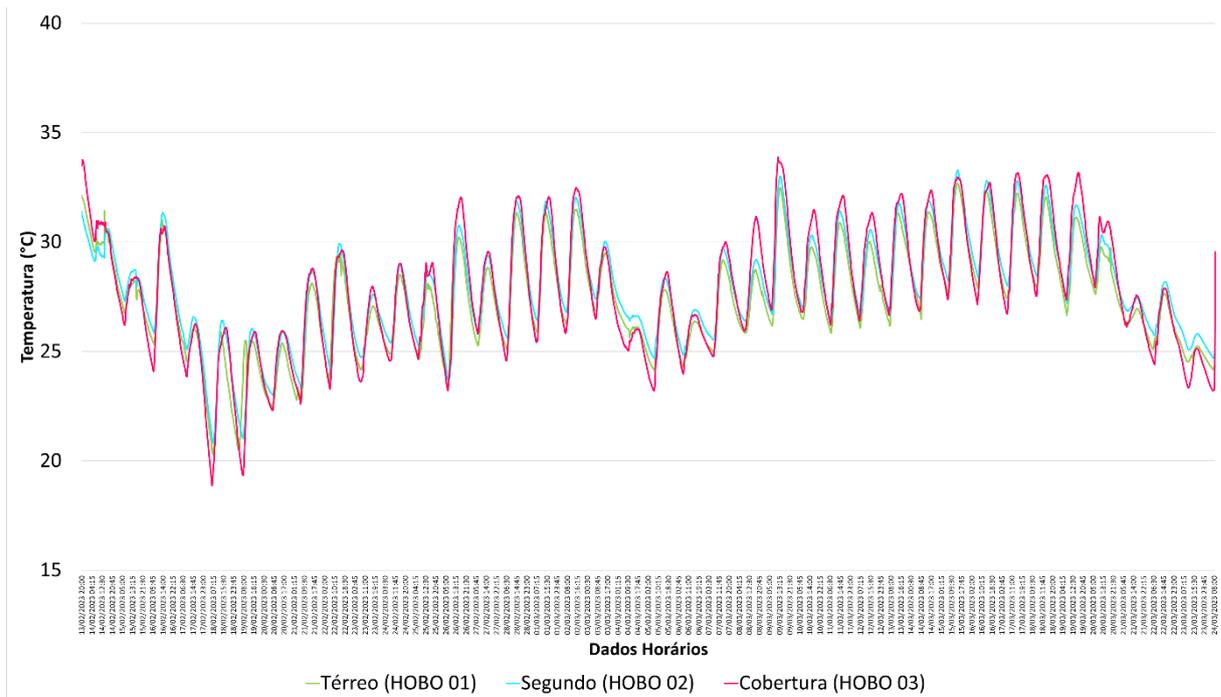
Para o estudo em questão, com a finalidade de preservação de patrimônio e visando evitar extravios ou danos aos aparelhos, a temperatura do ar no lado externo da edificação não foi coletada, então foi utilizado o Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023). Nesse sentido, foram aplicados os dados de monitoramento de coleta histórica do período de janeiro de 2023 até o final de julho de 2023 da estação meteorológica do Capão do Leão (Pelotas) – Rio Grande do Sul, código A887. A seleção dessa estação deu-se pelo motivo de proximidade com relação ao objeto de estudo, já que é o monitoramento de leitura mais próximo para a cidade de Pelotas.

Cabe ressaltar que os dados horários das condições registradas para o ano de 2023 apresentam lacunas, isto é, pontos que por alguma razão não foi possível coletar a leitura da temperatura. Esta situação é muito frequente, sendo posteriormente efetuados tratamento de dados para estimar valores para as variáveis climatológicas faltantes na série.

4.5.1 Análise dos Dados de Medição *In Loco* para o Verão

Durante o período de avaliação, houve a ocorrência de uma frente fria, a qual baixou consideravelmente as temperaturas do período. Por conta disto, optou-se por estender o intervalo de medição para abordar dados com valores de temperaturas típicas da estação de verão. Nesse contexto, a figura 35 apresenta o gráfico das variações de temperaturas, observadas para os três pavimentos no período de 40 dias de análise.

Figura 35 – Variação de temperatura do ar interno durante 40 dias para o período de verão

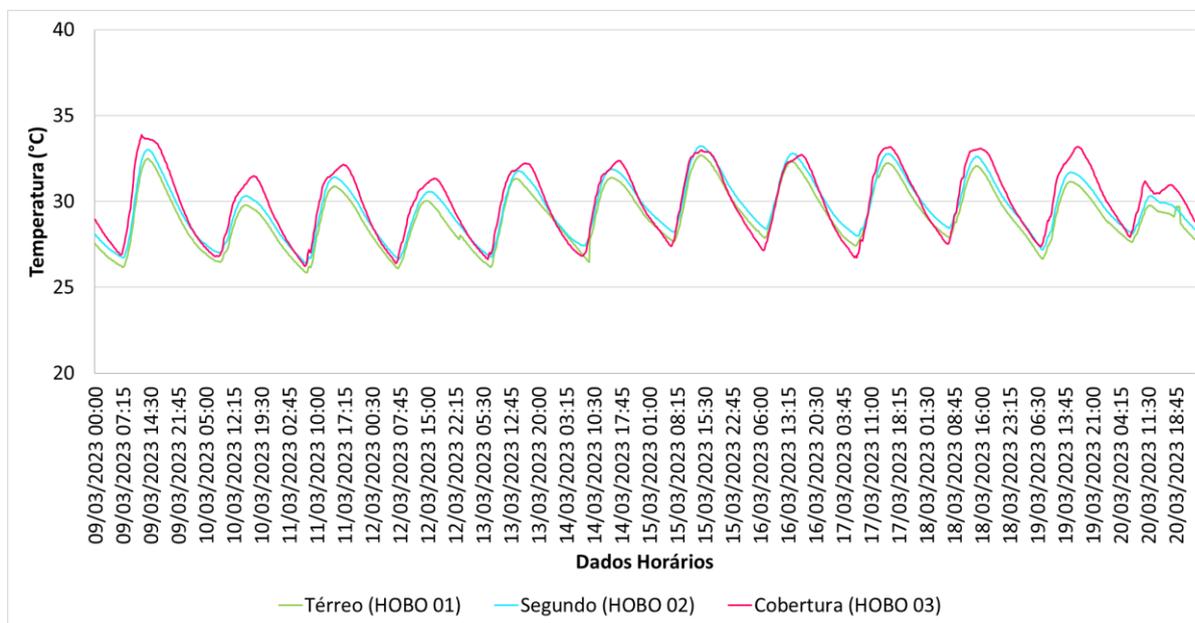


Ao verificar o comportamento do gráfico exposto na figura 35, constata-se que as maiores variações de temperatura durante o período de análise, ocorreram no pavimento de cobertura – representadas pelo HOBO 03 – enquanto as variações correspondentes ao primeiro (têrreo) e segundo pavimento, HOBO 01 e HOBO 02, respectivamente, mantiveram-se semelhantes, sendo as variações de temperatura do pavimento têrreo, menores que as apresentadas no segundo pavimento.

Inicialmente, as temperaturas internas começaram a despencar no dia 17/02/2023 às 18h00min e a menor temperatura do ar para cada HOBO foi observada no dia 18/02/2023, onde foi verificado 18,8°C, 20,8°C e 20,2°C, para, respectivamente, HOBO 03, HOBO 02 e HOBO 01. Dessa forma, o menor registro foi no pavimento de cobertura, tendo em vista que é o pavimento mais exposto e suscetível a ação de ventos e intempéries. A amplitude térmica observada entre o dia 16/02/2023 e 18/02/2023 foi de 11,8°C, 10,5°C e 10,7°C para o HOBO 03, HOBO 02 e HOBO 01, respectivamente. Assim, constata-se que houve uma considerável variação de temperatura para o período, sendo as maiores variações para o pavimento de cobertura.

O período que incide no comportamento previsto para o período de verão, teve início em 09/03/2023 e, estendeu-se, até o dia 20/03/2023. Desse modo, a figura 36 apresenta as variações de temperatura para o período correspondente.

Figura 36 – Medição *in loco* – Seleção de intervalo representativos para o período de verão

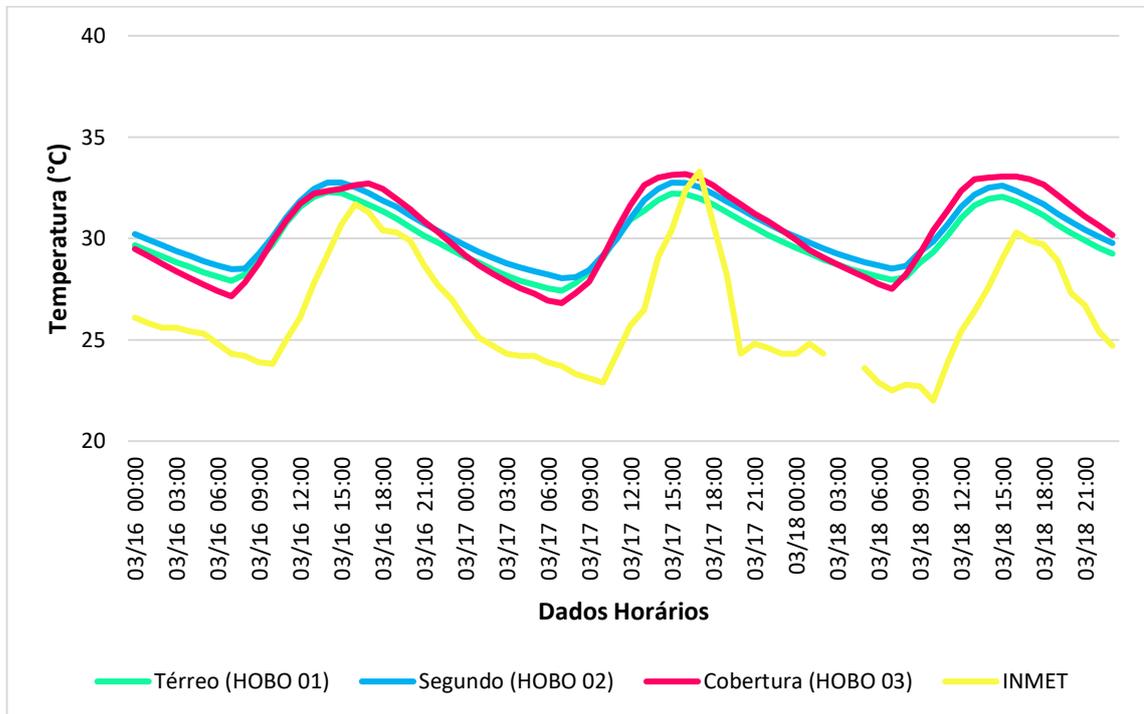


Durante toda a leitura dos dados, as maiores temperaturas internas do ar foram verificadas no período representado pela figura 36. Dessa forma, a maior temperatura foi analisada no HOBO 03, que corresponde ao pavimento de cobertura, a qual foi de 33,8°C no dia 09/03/2023 às 12h15min. Em contrapartida, a maior temperatura do segundo pavimento, representada pelo HOBO 02 foi de 33,2°C no dia 15/03/2023 às 14h15min e a temperatura mais elevada para o pavimento térreo – HOBO 01 – foi de 32,6°C no dia 15/03/2023 e foi observada durante 3 leituras, entre 14h15min e 14h45min. As temperaturas durante esse período se mantiveram uniformes, sendo a amplitude térmica observada de 7,6°C, 6,8°C e 6,9°C para, respectivamente, pavimento de cobertura, segundo pavimento e pavimento térreo. Assim, os valores de temperatura interna máxima apresentados na análise de verão para cada habitação, ultrapassa o valor de 29°C que é o limite superior para zona de conforto em países em desenvolvimento (GIVONI, 1992).

A NBR 15575 (ABNT, 2013a) apresenta como método informativo, a possibilidade da realização de medições *in loco* e recomenda que para análise térmica, deve-se considerar uma sequência de três dias que possuam

características semelhantes (Figura 37), sendo considerado para análise as informações do terceiro dia de medição para apontar o dia típico de verão.

Figura 37 - Variação de temperatura do ar diária, destacando o dia típico de verão



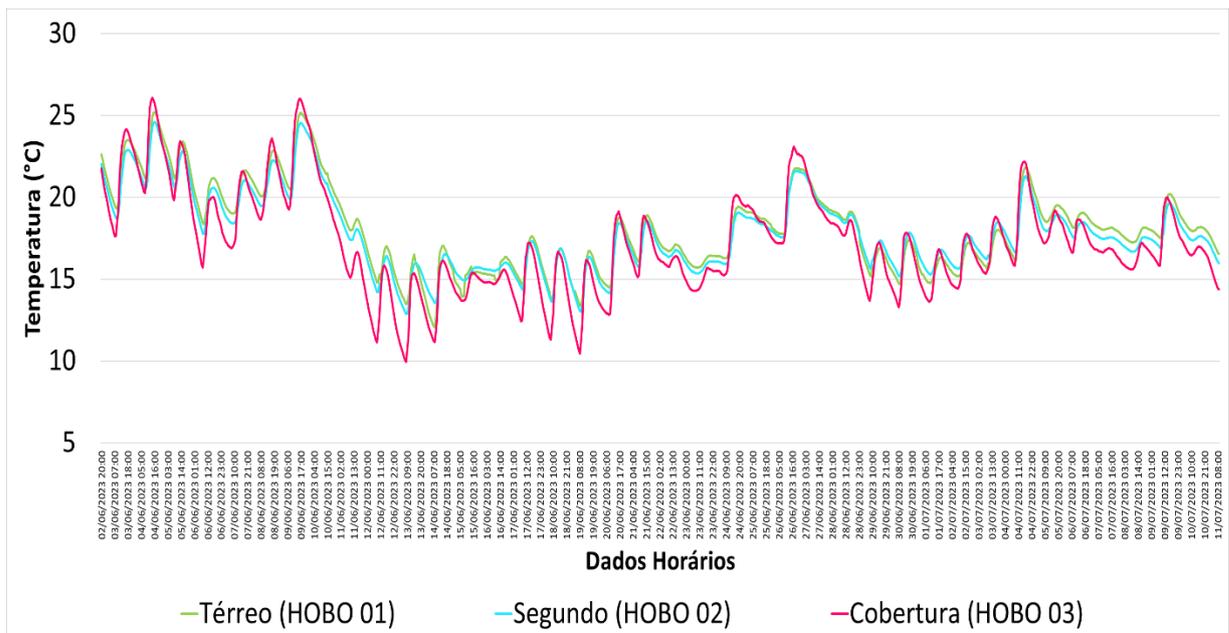
Neste contexto, o dia típico de verão foi identificado no dia 18/03/2023. Ao analisar as curvas de temperaturas, é notório que os valores obtidos pelo aparelho instalado no pavimento de cobertura apresentaram valores superiores com relação aos outros. No dia 18/03/2023 às 03h00min e às 04h00min foram observadas lacunas nas leituras da estação meteorológica, não apresentando dados para esses horários.

Para determinar se a edificação atende ao critério de classificação de desempenho, segundo a NBR 15575:2013 foi considerado as medições realizadas no pavimento de cobertura – seguindo as recomendações da norma – para o dia típico de verão, onde a temperatura interna máxima ($T_{i,máx.}$) deve ser menor ou igual a temperatura externa máxima ($T_{e,máx.}$) para atender ao nível mínimo de desempenho. Dessa forma, o valor da $T_{i,máx.}$ foi de 33°C e o valor de $T_{e,máx.}$ foi de 30,3°C, não atendendo as condições necessárias para atingir classificação.

4.5.2 Análise dos Dados de Medição *In Loco* para o Inverno

Para a análise de dados relativo ao período de inverno, a figura 38 apresenta o gráfico das variações de temperaturas, observadas para os três pavimentos no período de 40 dias de análise.

Figura 38 – Variação de temperatura do ar interno durante 40 dias para o período de inverno



Constata-se que as temperaturas internas começam a despencar notoriamente no dia 09/06/2023 e a partir dessa data, as temperaturas medidas *in loco* não alcançaram mais valores próximos a 25°C. Nesse sentido, ao examinar o gráfico representado pela figura 38, nota-se a mesma situação verificada para o período de verão, onde as variações de temperatura foram maiores no pavimento de cobertura, representado pelo HOBO 03, ao passo que as variações no pavimento térreo (HOBO 01) e segundo pavimento (HOBO 02), permaneceram semelhantes, se comparadas ao pavimento de cobertura.

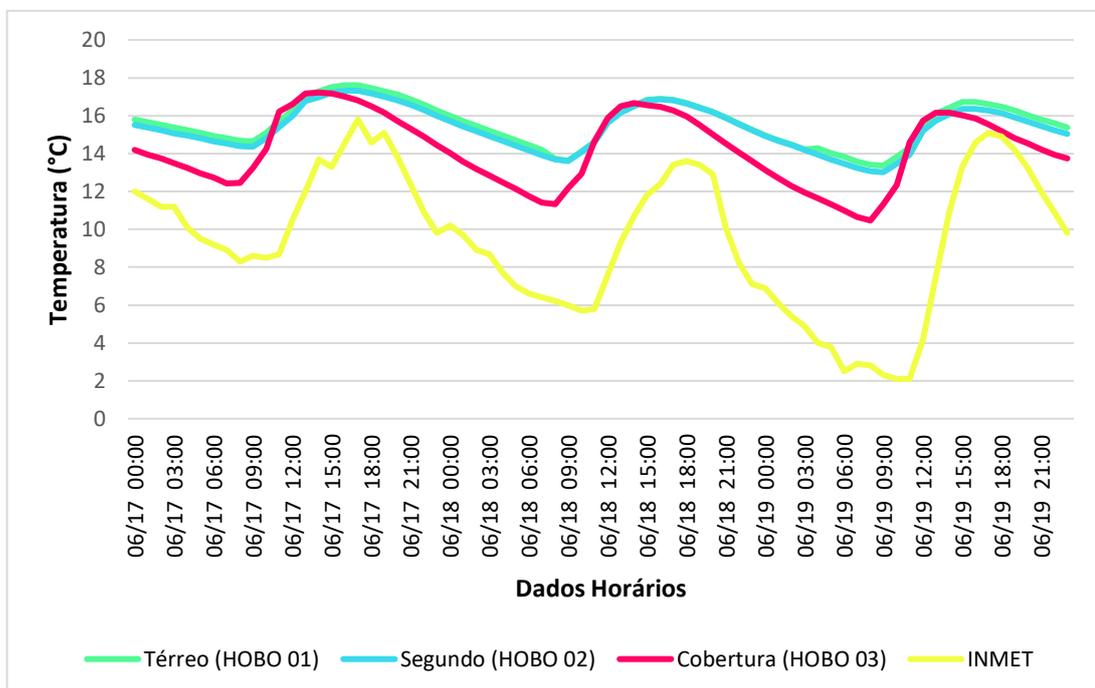
As menores temperaturas internas observadas para o período de análise foram 9,9°C às 08h30min do dia 13/06/2023 para o pavimento de cobertura (HOBO 03), 12,7°C às 08h15min do dia 13/06/2023 para o segundo pavimento (HOBO 02) e 12°C às 07h45min do dia 14/06/2023 para o pavimento térreo (HOBO 01).

Logo, verifica-se que a maior frente fria ocorrida durante a coleta de dados aconteceu na semana no dia 12/06/2023 a 16/06/2023. Em compensação, as maiores temperaturas internas ocorreram no dia 09/06/2023 às 16h30min onde a leitura apontou 26°C para a cobertura (HOBO 03), 24,4°C às 18h30min para o segundo pavimento (HOBO 02) e 25,1°C às 17h45min para o térreo (HOBO 01). Dessa forma, foi constatado uma elevação de temperatura atípica para o mês em questão durante o dia analisado.

Durante o período de inverno na cidade de Pelotas/RS, é frequente a ocorrência de variações abruptas de temperatura, com baixas temperaturas noturnas que se estendem até a manhã e temperaturas um pouco mais altas no período vespertino. Nesse sentido, houve notória variação térmica durante o período de inverno, onde a amplitude térmica para o intervalo correspondente aos 40 dias analisados, foi de 13,2°C, 11,8°C e 16,1°C, respectivamente, para o térreo, segundo pavimento e cobertura.

Para suceder a análise térmica da medição *in loco* para o período de inverno, foi considerado o método informativo da NBR 15575 (ABNT, 2013a), onde deve ser considerado uma sequência de três dias que possuam padrões semelhantes (Figura 39), considerando para análise as informações do terceiro dia de medição para apontar o dia típico de inverno.

Figura 39 – Variação de temperatura do ar diária, destacando o dia típico de inverno



À vista disso, o período de análise através do método informativo foi de 17/06/2023 a 19/06/2023, sendo assinalado o dia 19/06/2023 como o dia típico de inverno, onde a temperatura as menores temperaturas observadas foram verificadas no pavimento de cobertura.

Para determinar se a edificação atende ao critério de classificação de desempenho, segundo a NBR 15575:2013 foi considerado as medições realizadas no pavimento de cobertura – seguindo as recomendações da norma – para o dia típico de inverno, onde a temperatura interna mínima ($T_{i,mín.}$) deve ser maior ou igual a temperatura externa mínima ($T_{e,mín.}$) acrescido de 7°C para atender ao nível mínimo de desempenho. Dessa forma, o valor da $T_{i,mín.}$ foi de $10,5^{\circ}\text{C}$ e o valor de $T_{e,mín.}$ foi de $2,1^{\circ}\text{C}$, obtendo-se nível superior para o período de inverno.

4.6 SÍNTESE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo e análise da norma de desempenho é imprescindível para garantia de ambientes minimamente funcionais. O progresso visando a melhoria dos indicadores de desempenho estão sendo estudados e discutidos constantemente entre os pesquisadores, os quais aspiram avanços para verificação dos itens necessários para atendimento dos níveis de desempenho.

Nessa perspectiva, o desempenho térmico satisfatório para os usuários é indispensável, e, para alcance dos níveis necessários para assegurar a qualidade térmica que as edificações devem atender, é muito importante garantir que as edificações sigam as premissas da NBR 15575, bem como certificar que as alterações relativas a atualizações pertinentes na norma de desempenho sejam difundidas e compreensíveis para que a área técnica das empresas construtoras possam atualizar os seus projetos visando executar empreendimentos conforme a norma.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar os principais impactos que a atualização da NBR 15575 ocasionou na avaliação de desempenho térmico. Com esse intuito, foi verificado o método simplificado e método de simulação computacional presentes na versão 2013 e 2021 da norma de desempenho, assim como o método informativo (medição *in loco*), exibido apenas na versão 2013.

Embora o método simplificado seja uma ferramenta de fácil compreensão nas duas versões da NBR 15575, este procedimento não foi suficiente para ser possível classificar a edificação analisada de acordo com os níveis de desempenho expostos na norma. Dessa maneira, tornou-se necessário a avaliação por meio do método de simulação computacional. Para cada versão da NBR 15575, há um método distinto de avaliação para alcance dos níveis de desempenho segundo o procedimento de simulação computacional, sendo ambos testados e avaliados para constatar o nível de desempenho alcançado pela edificação conforme a versão de 2013 e a versão de 2021.

Neste contexto, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013a), a edificação em questão neste trabalho atende ao nível de desempenho mínimo após análise através do método de simulação computacional. Em contrapartida, segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021a) esta mesma edificação não atingiu classificação, tendo em

vista apenas o critério de desempenho relativo à temperatura operativa máxima não foi alcançado para o pavimento térreo, onde o valor obtido diverge em somente 0,1°C do necessário para alcance de atendimento ao nível mínimo. Compete evidenciar que todos os outros indicadores de desempenho atenderam aos critérios necessários.

De maneira geral, os períodos de medição *in loco* da temperatura do ar interno apresentaram fenômenos climatológicos que modificaram as temperaturas observadas, principalmente para o período de verão, onde foram verificados dias em que a Temperatura de Bulbo Seco (TBS) diminuiu consideravelmente. Para o período de verão não houve classificação de desempenho. Entretanto, no período de inverno a edificação obteve nível de desempenho superior, conforme a NBR 15575:2013.

Cabe mencionar que o ponto de instalação do sensor de temperatura adotado no estudo (2,15 metros em relação ao piso do cômodo) pode ocasionar alguma variação sobre os dados, se comparados a uma condição no ponto médio no centro do ambiente, devido a questões associadas ao movimento convectivo do ar dentro do ambiente. Como o ar quente tende a subir e o ar frio a descer, isso resulta em uma concentração de ar mais quente próximo ao teto, o que favorece o desempenho na coleta de dados no inverno, mas gera um impacto negativo no desempenho durante a coleta de dados no verão.

A tabela 44 apresenta os resultados obtidos para cada procedimento estipulado pela norma brasileira, em suas duas versões.

Tabela 44 - Resultados obtidos para cada versão da NBR

	NBR 15575:2013	NBR 15575:2021
Procedimento Simplificado	Sem classificação	Sem classificação
Simulação Computacional	Mínimo	Sem classificação
Medição <i>in loco</i>	Sem classificação	-

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A NBR 15575 vem sendo abordada nos últimos anos em inúmeras construtoras com o intuito de melhoria dos projetos para atendimento aos níveis de desempenho da norma. Recentemente, a norma de desempenho foi revisada, ocasionando em novos indicadores desempenho térmico que na versão anterior não eram retratados.

Nesse sentido, esta pesquisa teve como objetivo principal avaliar o impacto da revisão da NBR 15575 para alcance dos níveis de desempenho térmico da norma em uma edificação residencial multifamiliar de interesse social na cidade de Pelotas-RS, na zona bioclimática 2. O estudo foi efetuado realizando análises através dos procedimentos simplificado e de simulação computacional das versões 2013 e 2021 da norma, bem como medição *in loco* em três pavimentos (térreo, entre pisos e cobertura) do empreendimento avaliado.

Assim sendo, os resultados obtidos por meio dos métodos de análise apresentados nas duas versões da norma de desempenho, contrariam, em certa parte, os resultados esperados, tendo em vista que o empreendimento supostamente atenderia pelo menos o nível mínimo em ambas as versões. Ao avaliar a edificação pelo procedimento simplificado, não houve alcance de classificação pela edificação, sendo inevitável a avaliação pelo procedimento de simulação computacional, para ambas as versões da NBR 15575.

Por meio da avaliação realizada de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013a) a edificação obteve o nível mínimo de desempenho térmico pelo método de simulação computacional, considerando as situações críticas do ponto de vista térmico para os dias típicos de verão e dias típicos de inverno. Por outro lado, o diagnóstico por meio da NBR 15575 (ABNT, 2021a) foi de que a edificação não tem características térmicas suficientes para atingir qualquer classificação, já que a temperatura operativa mínima no térreo não atende ao valor recomendado pela norma. Desse modo, mesmo que os outros indicadores de desempenho tenham alcançado resultados satisfatórios, a edificação não pode ser classificada em nenhum nível de desempenho.

À vista disso, identificou-se que o procedimento simplificado das duas versões da NBR 15575 é um dispositivo ágil e uma simples ferramenta de análise para avaliação de desempenho térmico, expondo, quando possível, através de

metodologia de cálculo, o provável atendimento ao nível mínimo de desempenho exigido para as HIS, apesar de não ter sido concebível a classificação por meio deste método para esta pesquisa. Assim, o procedimento simplificado é compreendido como um instrumento acessível, com baixo custo operacional e com resultados sintetizados e rápidos. Cabe mencionar, ainda, que essa técnica somente pode ser empregada para alcance de nível mínimo de desempenho, sendo fundamental o emprego do método de simulação computacional quando há necessidade de atendimento ao nível intermediário ou superior. Desse modo, a NBR 15575 (ABNT, 2021a) apresentou como incremento a avaliação do percentual de elementos transparentes existentes na UH. Esse indicador potencializa o método simplificado e não prejudica o procedimento de cálculo. Em contrapartida, a ferramenta pode apresentar incertezas, já que considera apenas as propriedades térmicas dos materiais para alcance de classificação.

De maneira geral, a maior alteração detectada na revisão da norma, manifesta-se no método de simulação computacional. A NBR 15575:2013 evidenciava a exigência de avaliação dos dias típicos de verão e dias típicos de inverno, segundo a análise das principais situações térmicas críticas que a norma expunha para as duas estações, sendo que em edificações multifamiliares, como a deste estudo, considerava-se apenas o pavimento de cobertura para verificação, sem a inclusão de cargas térmicas (equipamentos, uso e ocupação de pessoas e iluminação), assim como não deixava claro o contato entre a edificação e o solo. Por outro lado, a NBR 15575:2021 modificou os principais indicadores de desempenho, incluindo a necessidade de avaliação de dois modelos (referência e real). Para atendimento de nível mínimo, a versão 2021 tem como requisito apenas analisar a edificação considerando a utilização de ventilação natural e para alcance do nível intermediário e superior é necessária verificação com inclusão de cargas de resfriamento e aquecimento (sem ventilação natural, com condicionamento de ar).

Em razão disso, o método de simulação computacional, que na versão de 2013 já não era um método tão trivial, tendo em vista a necessidade de conhecimento prévio das ferramentas *OpenStudio* e *EnergyPlus*, tornou-se ainda mais complexo na versão de 2021 da norma de desempenho, uma vez que, para edificações multifamiliares, há imposição de modelagem de vários pavimentos, ocasionando em uma metodologia extensa e que demanda maior concentração para realizar cada simulação.

Contudo, a revisão da NBR 15575 viabilizou importantes avanços na representação real de uma edificação, considerando indicadores que retratam a utilização da UH durante todo o ano, bem como reproduz o uso e ocupação do edifício por seus usuários e configura o contato da edificação com o solo. Estes itens não eram conceituados na versão 2013, assim como eram avaliados apenas situações críticas no ponto de vista térmico para os dias típicos, ocasionando em imprecisões para expressar o cenário existente. Com a versão 2021, os parâmetros de desempenho térmico ficaram mais fundamentados, acarretando em resultados mais confiáveis de avaliação.

De maneira geral, o método de simulação computacional ainda é um dos mecanismos mais completos para avaliação de desempenho térmico das edificações, mas que necessita de preparo técnico e compreensão do responsável pela simulação, tendo em vista a quantidade de etapas existentes para modelar a UH.

Por fim, o procedimento de medição *in loco* permite a mensuração da temperatura do ar interno, porém necessitando acesso aos dispositivos convenientes e devidamente calibrados. O mecanismo de leitura era exposto na NBR 15575 (ABNT, 2013a) como meramente informativo, não se sobrepondo ao procedimento simplificado ou de simulação computacional, e, atualmente, a versão 2021 retirou a alusão a este método, haja vista que os indicadores de desempenho foram modificados não fazendo mais referência direta a temperatura do ar interno, então por conta disto não há mais caráter normativo. Este procedimento é atrativo quando há necessidade de comprovar os dados do método de cálculo ou método de simulação computacional, principalmente para indivíduos que não detém conhecimento prévio na área em questão. No entanto, é uma técnica limitada, visto que só poderá ser utilizada após a edificação ser concluída. Outro contraponto é a conveniência de realizar as leituras sem a interferência dos moradores, em virtude de os usuários modificarem os dados coletados caso optem por abrir ou fechar as janelas.

Em síntese, o estudo relativo à inclusão da norma de desempenho para as HIS, em específico o item de desempenho térmico, é de suma importância na luta por moradias dignas e na melhoria da qualidade de vida para os indivíduos de baixa renda. Esta pesquisa buscou contribuir positivamente para esclarecimentos relativo as principais mudanças ocorridas na revisão NBR 15575.

5.1 LIMITAÇÕES

Dentre as limitações desta pesquisa, destacam-se:

- I. A escolha da posição e altura (2,15m) para instalação do sensor de temperatura pode ter gerado variação nos resultados, se comparados a uma possível coleta no centro do ambiente em um nível mais baixo;
- II. A análise do procedimento de simulação computacional foi realizada com o arquivo climático da cidade de Camaquã-RS, cidade próxima a Pelotas-RS e com características semelhantes, uma vez que ainda não há disponível arquivo climático INMET específico para a cidade em questão;
- III. As medições *in loco* foram realizadas em apenas um bloco do empreendimento, conforme disponibilidade de apartamentos desocupados que foram cedidos pela construtora. Para diagnóstico mais abrangente, uma avaliação com um número maior de blocos poderia ser realizada;
- IV. O estudo foi realizado considerando apenas a cidade de Pelotas-RS, localizada na zona bioclimática 2. Para compreender maiores resultados, torna-se importante avaliar outras zonas bioclimáticas;
- V. Neste estudo, a análise foi efetuada em apenas uma edificação. Uma comparação mais abrangente entre as duas versões da norma de desempenho, poderia ser alcançada com uma avaliação de um maior número de edificações.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As principais recomendações para trabalhos futuros são:

- I. Aumentar o número de empreendimentos avaliados para investigar uma maior amostragem e examinar quais os impactos isto acarretaria;
- II. Replicar a metodologia para outras zonas bioclimáticas;
- III. Efetuar a análise de edificações multifamiliares e unifamiliares para verificar os impactos em cada modelo;
- IV. Analisar a edificação em questão em termos de conforto térmico.

REFERÊNCIAS

ABREU, R. L. Locator map of Pelotas in Rio Grande do Sul. 06 jun. 2006. Disponível em: <https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Locator_map_of_Pelotas_in_Rio_Grande_do_Sul.svg> Acesso em: 03 set. 2022.

ABNT CB-002. **Comissão de Estudo de Eficiência Energética e Desempenho Térmico nas Edificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Acesso em: 26 jan. 2023.

ALMEIDA, I. S. **Trajectoria recente de políticas federais de habitação: do programa minha casa minha vida ao programa casa verde e amarela**. 2021. 37 f. Trabalho de Conclusão (Especialização em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

ARANTES, B. **Conforto térmico em habitações de interesse social - um estudo de caso**. 2013. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2013.

ARAÚJO, M. L. T. de; SCALCO, V. A.; BATISTA, J. O. Calibração de um modelo computacional para análise de desempenho térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...**Porto Alegre: ANTAC, 2020.

ARUMUGAM, P.; RAMALINGAM, V.; VELLAICHAMY, P. Effective PCM, insulation, natural and/or night ventilation techniques to enhance the thermal performance of buildings located in various climates – A review. **Energy and Buildings**, v. 258, p. 1-25, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho Térmico de Edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho Térmico de Edificações Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Parte 2 – componentes e elementos construtivos das edificações — resistência e transmitância térmica — métodos de cálculo. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas – SVVIE. 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para os Sistemas de Coberturas. 2013c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2021a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas – SVVIE. 2021b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para os Sistemas de Coberturas. 2021c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **TR 15575-1-1**: Edificações Habitacionais - Desempenho - Parte 1-1: Base-padrão de Arquivos Climáticos para a Avaliação do Desempenho Térmico por Meio do Procedimento de Simulação Computacional. 2021d.

AZEVEDO, S., ANDRADE, LAG. **Habitação e poder**: da Fundação da Casa Popular ao Banco Nacional Habitação [online]. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2011, 116 p.

BARBOSA, K. H. **Avaliação da influência da orientação solar, associada ao comportamento do usuário, no desempenho térmico de uma tipologia de residência unifamiliar em Goiânia**. 2017. 225 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

BARBOSA, K. H.; GHISI, E. Proposta de calibração de um modelo computacional de uma tipologia de residência unifamiliar em Goiânia. Encontro Nacional de conforto no ambiente construído. XIV ENCAC. **Anais...** 2017.

BILÉSIMO, T. L.; RAMPINELLI, G. A.; MARCELINO, R. Modelagem e simulação do desempenho termoenergético de uma edificação com arquitetura bioclimática. *In*: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 9., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018.

BORGES NETTO, M. A. S.; MATOS, G. A.; GONÇALVES, G. S.; SILVA, F. J. Conceitos de Frequências Sonoras da Natureza Aplicados na Arquitetura Bioclimática. *In*: IX Encontro de Sustentabilidade em Projeto, 12., 2021, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2021.

BRASIL, 2020. **Relatório de avaliação do programa minha casa minha vida**. Dez. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/cgu/pt-br/assuntos/noticias/2021/04/cgu-divulga-prestacao-de-contas-do-presidente-da-republica-de-2020/relatorio-de-avaliacao-pmcmv.pdf>> Acesso em: 01 out. 2022.

BRITO, A. de C. de; PIRES, H. L; AKUTSU, M. Contribuições para o aprimoramento do método simplificado de avaliação do desempenho térmico de coberturas previsto na norma NBR 15575. **Revista IPT Tecnologia e Inovação**, v.2, n.9, p.6-13, dez., 2018.

CALAZANS, C. J. **Análise da ABNT NBR 15575:2013 com ênfase em Desempenho Térmico**. 2016. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

CALDAS, Lucas Rosse; CARVALHO, Michele Tereza Marques. Avaliação do desempenho de vedações verticais utilizando o Processo de Análise Hierárquica na tomada de decisão. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 9, n. 2, P. 109-121, jun. 2018.

CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 119-134, out./dez. 2014.

COSTA, L. M.; LIMA, F. R. S. Economia de energia com ar condicionado proporcionada por telhados verdes e refletivos em diferentes climas do Brasil. **ENCAC: ELACAC**, Balneário Camboriú, p. 1547-1556, set. 2017.

DALBEM, R.; CUNHA, E. G. da; VICENTE, R.; FIGUEIREDO, A. J.; SILVA, A. C. S. B. da. Discussão do desempenho da envoltória de uma passive house adaptada à zona bioclimática 2 em acordo com o RTQ-R. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 201-222, jan./mar. 2017.

D'AVILA, M. R.; GRAFF, E. S. Desempenho térmico no ambiente construído: estudo de caso com tecnologia inovadora para habitação social na região metropolitana de Porto Alegre (RMPA). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 38848-38861, jun. 2020.

DONATO, N. D., & BRAGA, D. K. (2018). Análise do desempenho térmico (NBR 15.575) de três empreendimentos residenciais em Rondonópolis-MT. **Paranoá**, (22), 72–87.

DORNELLES, K. A.. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. 160f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1607471>. Acesso em: 9 nov. 2022.

ELI, L. G. **O impacto do padrão de uso no desempenho térmico de edificações unifamiliares no Brasil**. 2020. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

ELI, L. G. *et al.* **Manual de Simulação Computacional de Edifícios com o Uso do Objeto Ground Domain no Programa EnergyPlus - Versão 9.0.1**. Florianópolis, Brasil. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2019.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional. Relatório Síntese / ano base 2020. Rio de Janeiro: 2021. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>> Acesso em: 20 out. 2022.

ESCANDÓN, R.; SUÁREZ, R.; SENDRA, J. J. On the assessment of the energy performance and environmental behaviour of social housing stock for the adjustment between simulated and measured data: The case of mild winters in the Mediterranean climate of southern Europe. **Energy and Buildings**, v. 152, p. 418-433, oct. 2017.

FERRADOR FILHO, A.L.; AGUIAR, A. O.; KNISS, C. T. Eficiência energética com base nos critérios PROCEL: estudo de caso em edifício público. **Holos**, v. 7, p. 2-25, out. 2018.

FERREIRA, G. G., CALMON, P., FERNANDES, A. S. A., & ARAÚJO, S. M. V. G. (2019). Política habitacional no Brasil: uma análise das coalizões de defesa do Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social versus o Programa Minha Casa, Minha Vida. urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 11, e20180012.

FREITAS, Julye Ramalho de; LEITZKE, Rodrigo Karini; CUNHA, Eduardo Grala da Modelagem de pontes térmicas na zona bioclimática 2: cinco diferentes abordagens. **Arquitetura Revista**, vol. 16, núm. 2, 2020, Julho-Dezembro, pp. 315-343, Unisinos.

GALLO, D.; LOGSDON, L.; COSTA, H. A. **Habitação de Interesse Social no Brasil: Diálogos e Perspectivas**. Vol. 8. Jundáí: Paco Editorial, 2022. 164 p.

GIVONI, B. Confort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Building**, Lansanne, v.18, p. 11-23, 1992.

GOOGLE MAPS. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps/@-31.7601602,-52.3045634,280m/data=!3m1!1e3!5m2!1e4!1e2>>. Acesso em: 14 set. 2022.

GONÇALVES, H. Ambiente construído: clima urbano, utilização racional de energia nos edifícios da cidade de Lisboa. Lisboa: INETI, 2004.

GONÇALVES, T. B. **Análise de desempenho térmico segundo a NBR 15.575/2013 em protótipos em Palmas-TO: comparação entre a telha cerâmica**

e a telha de concreto. 2020. 61 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2020.

GOUVEIA, H. L.; SPOSTO, R. M. Indicadores de desempenho térmico de vedações verticais externas relacionados com o custo de habitação de interesse social com base na norma de desempenho no Brasil. RCT – **Revista de Ciência e Tecnologia**, Brasília – Distrito Federal, 2016.

GRILLO, José Carlos; AMORIM, Cláudia Naves. Janela na Edificação: Normas e Indicações para Projeto. *In: X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 15., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

GUARDA, E. L. A.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A.; JORGE, S. H. M.; BRANDÃO, R. P. Estratégias Construtivas Para Adequação da Envoltória de uma Habitação de Interesse Social às Zonas Bioclimáticas Mato-Grossenses. **E&S – Engineering and Science**, (2018), 7:1.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Panorama de Pelotas (RS)**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pelotas/panorama>>. Acesso em: 12 set. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy Technology Perspectives: Towards Sustainable Urban Energy Systems**. Paris: IEA Publications, 2016. 418 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas 1991-2020**. BRASIL, 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados Históricos Anuais**. Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos> >. Acesso em: 28 ago. 2023.

IWARO, J.; MWASHA, A. The impact of sustainable building envelope design on building sustainability using Integrated Performance Model. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v.2, p. 153-171, 2013.

KRELLING, A.; HACKENBERG, A. M. Influência de parâmetros construtivos na eficiência energética de uma edificação – análise através de simulação computacional. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, p. 211-232, dez. 2015.

LabEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **NBR 15575-2021 - Desempenho térmico**. 2020. Disponível em: < <https://labeee.ufsc.br/NBR15575-2020> > Acesso em: 03 out. 2022.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. São Paulo: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LAZZARINI, S.; HIPPERT, M. A. S. Diretrizes para controle de informação documentada gerada pela implantação da NBR 15575: edificações habitacionais: desempenho em empresas construtoras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 181-196, jan./mar. 2021.

LIMA, I. V.; BRAGA NETO, G. A. N.; QUIXABA, G. S.; MELO, G. da S. V. de; MESQUITA, A. L. A. Melhoria de desempenho acústico de vedação interna de habitação de interesse social usando simulação numérica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 157-177, out./dez. 2021.

LOBO, E. B. C. **Desempenho térmico de painéis em light steel framing em uma habitação de interesse social frente ao clima equatorial da Amazônia**. 2018. 131 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

LOPES, T. P. Avaliação do desempenho térmico de uma edificação multifamiliar de interesse social em uso, construída em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos na cidade de Joinville, SC. *In: IX WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS*, 15., 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2009.

MANUAL SELO CASA AZUL CAIXA: **Boas práticas para habitação mais sustentável**. São Paulo: Páginas & Letras - Editora e Gráfica, 2010. 204p.

MICHELS, C. Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes. 2007. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MILAN, Victoria Bottini. **Desempenho térmico: análise de uma edificação escolar padrão proinfância instalada no município de Camaquã**. 2015. 108 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Faculdade de Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

MERIGUETE, J. R. Avaliação do desempenho térmico de habitação de interesse social com aplicação de proteção solar na cidade de Colatina/ES. **Revista Ifes Ciência**, v. 5, n. 1, 2019.

MORISHITA, C.; SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; TRIANA, M. A.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, 2011. Disponível em <http://labeee.ufsc.br/>. Acesso em: 04 nov. 2022.

NEVES, L.O. **Arquitetura bioclimática e a obra de Severiano Porto: Estratégias de ventilação natural**. 2006. 200 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

NÖRNBERG, S. O.; REHBEIN, M. O. Fragilidade ambiental e vulnerabilidade à perda de solos no município de Pelotas/RS: aplicação e comparação de modelos. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 81, p. 42-59, jun. 2021.

OLIVEIRA, Liader da Silva. **Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15220-3, para habitações de interesse social, da zona bioclimática 2**. 2012. 177 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

OLIVEIRA, M. C. A.; OMENA, T. H.; BRITO, D. R. Análise de desempenho térmico de paredes em concreto armado em uma habitação social em Palmas-TO. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.10, p.65002-65015, out., 2022.

PASSUELLO, A. C. B.; OLIVEIRA, A. F.; COSTA, E. B.; KIRCHHEIM, A. P. Aplicação da avaliação do ciclo de vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 7-20, 2014.

PINTO, Jones Vieira. **Contribuições para estudo do “Programa Minha Casa, Minha Vida” para uma cidade de porte médio, Pelotas-RS: caracterização das empresas construtoras e incorporadoras privadas e inserção urbana**. 2016. 300f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

PLHIS. **PLHIS Pelotas: Plano Local de Habitação de Interesse Social de Pelotas, 2013**. Disponível em: <<http://plhispelotas.blogspot.com>>. Acesso em: 02 nov. 2022.

PROJETEEEE. **Projetando Edificações Energeticamente Eficientes, 2022**. Disponível em: <<http://www.projeteeee.mma.gov.br>>. Acesso em: 09 out. 2022.

PORTO, J. P. **Desempenho termoenergético e ótico da janela inteligente por simulação computacional**. 2019. 95 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

REIS, Júlia Abreu. **Arquitetura bioclimática: Estudo de caso em república localizada no Centro Histórico de Ouro Preto – MG**. 2021. 111 f. Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

ROMAGNOLI, A. L. O programa “minha casa, minha vida”: continuidades, inovações e retrocessos. **Temas de Administração Pública. Edição Especial**, v. 4, n. 7 (2012).

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares. *In: V ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 10., 1999, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 1999.

RUBIN, G. R. Movimento Moderno e habitação social no Brasil. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 17, n. 2, p. 57-71, 2013.

RUSSI, M. et al. Estratégias construtivas na busca de conforto térmico e eficiência energética em edificações unifamiliares de interesse social nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 brasileiras. **Revista de Arquitetura da IMED**, 2012.

SACHT, H. M.; ROSSIGNOLO, J. A. Habitações térreas e multipavimentos de interesse social: avaliação de desempenho térmico para tipologias com vedações em alvenaria de blocos cerâmicos e de concreto. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 1, n. 4, p. 2–19, 2009. Disponível em: < <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8634498> >. Acesso em: 01 nov. 2022.

SANTOS, J. C. P.; KOTHE, K.K.; MOHAMAD, G.; VAGHETTI, M. A.; RIZZATTI, E. Comportamento térmico de fechamentos em alvenaria estrutural para a Zona Bioclimática 2 brasileira. **Revista Matéria**, v.20, n.4, p. 1030 – 1047, 2015.

SANTOS, T. L.; PORTO, F. H. F. S.; SILVA, A. S. Análise da correlação entre conforto e desempenho térmico em habitações de interesse social por simulação computacional, **Ambiente Construído**, v. 20, n. 2, p. 211-229, abr./jun. 2020.

SEBBEN, T.; LEITZKE, R. K.; MACIEL, T. dos S.; SILVA, T. L. da; CUNHA, E. G. da; RIBEIRO, L. A. Desempenho térmico de habitação emergencial por simulação evolutiva. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 13, p. e022015, 2022.

SILVA, A. C. S. B. Zonas Bioclimáticas 01 e 02: Suas peculiaridades em um país predominantemente tropical e seus impactos na aplicação e regulamentação em projetos de HIS. **Diálogos sobre Eficiência Energética, Apostila do Projeto EEDUS**, 2021. 115 f.

SILVA, M. P. **Simulação termoenergética e análise econômica do uso de telhados de alta refletância solar em uma residência unifamiliar**. 2019. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

SOARES, Maicon Motta. **Avaliação dos parâmetros de desempenho térmico da NBR 15575/2013: habitações de interesse social na zona bioclimática 2**. 2014. 160 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

SORGATO, M.; MARINOSKI, D.; MELO, A.; LAMBERTS, R. Avaliação de desempenho térmico pela norma NBR15575 em consulta pública em 2012. Nota técnica do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - UFSC. Florianópolis: LabEEE/UFSC, 2012. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/node/397>>. Acesso em: 8 nov. 2022.

SOUSA, J. Energy simulation software for buildings:review and comparison. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON INFORMATION TECHNOLOGY FOR ENERGY APPLICATIONS, 1., 2012, Lisboa. **Proceedings [...]**. Lisboa: Ordem dos Engenheiros, 2012.

TURCATTO, J. M. Análise de Desempenho Térmico segundo a NBR 15.575 em uma Edificação Unifamiliar no Município de Porto Alegre. 2017. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

TURCZYN, D. T.; NEVES, L. O. **Avaliação de desempenho térmico de uma residência através de simulações com o EnergyPlus**. Revista Intellectus, n. 52, 2019.

TRINDADE, S. C.; PEDRINI, A.; DUARTE, R. N. C. Método de aplicação da simulação computacional em edifícios naturalmente ventilados no clima quente e úmido. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 38-58, out. /dez. 2010.

VÁZQUEZ-TORRES, C. E.; GÓMEZ-AMADOR, A. Impact of indoor air volume on thermal performance in social housing with mixed mode ventilation in three different climates. **Energy and Built Environment**, v. 3, n. 4, p. 433-443, oct. 2022.

WEBER, F. da S., MELO, A. P., MARINOSKI, D. L., *et al.* **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis, LabEEE, ago. 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Sanitation. Genebra, 2018. Available at: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs392/en/>>. Acesso em: 21 out. 2022.

ANEXOS

Anexo A – Detalhamento construtivo dos acabamentos dos ambientes

Descrição do padrão de acabamento dos apartamentos segundo os projetos da construtora

Ambiente	Piso	Parede	Forro
Banheiro	Revestimento cerâmico (50x50 cm)	Revestimento cerâmico (50x50 cm)	Pintura acrílica sobre forro de gesso <i>drywall</i> , cor branco gelo
Dormitório 1	Piso laminado	Pintura látex PVA sobre gesso, cor branco gelo	Pintura elastomérica sobre gesso, cor branco gelo
Dormitório 2	Piso laminado	Pintura látex PVA sobre gesso, cor branco gelo	Pintura elastomérica sobre gesso, cor branco gelo
Sala de Estar	Piso laminado	Pintura látex PVA sobre gesso, cor branco gelo	Pintura elastomérica sobre gesso, cor branco gelo
Cozinha/Área de Serviço	Revestimento cerâmico (50x50 cm)	Revestimento cerâmico (50x50 cm)	Pintura acrílica sobre forro de gesso <i>drywall</i> , cor branco gelo
Sacada*	Revestimento cerâmico (45x45 cm)	Pintura elastomérica sobre textura e reboco argamassado, cor verde	Pintura elastomérica sobre textura e reboco argamassado, cor verde
Área Externa	Escadaria com Revestimento cerâmico (50x50 cm)	Pintura elastomérica sobre reboco argamassado, cor verde	-

* Apenas os apartamentos com finais 01 e 04 possuem sacada

Anexo B – Detalhamento aberturas conforme o projeto

Ambiente	Portas	Janelas
Banheiro	Porta de madeira, 1 folha de giro com revestimento em cor branca (0,62x2,10 m)	Janela de alumínio, 1 folha maxi-ar, com pintura eletrostática branca e vidro mini boreal incolor 4 mm (0,60x0,60 m)
Dormitório 1	Porta de madeira, 1 folha de giro com revestimento em cor branca (0,82x2,10 m)	Janela de alumínio, 2 folhas de correr e persiana, com pintura eletrostática branca e vidro transparente incolor com espessura de 4 mm (1,20x1,20 m)
Dormitório 2	Porta de madeira, 1 folha de giro com revestimento em cor branca (0,82x2,10 m)	Janela de alumínio, 2 folhas de correr e persiana, com pintura eletrostática branca e vidro transparente incolor com espessura de 4 mm (1,40x1,30 m)
Sala de Estar	Porta de madeira, 1 folha de giro com revestimento em cor branca (0,92x2,10 m)	Apenas apartamentos finais 02 e 03: Janela de alumínio, 2 folhas de correr, com pintura eletrostática branca e vidro transparente incolor com espessura de 4 mm (1,35x1,20 m)
Cozinha/Área de Serviço	-	Janela de alumínio, 2 folhas de correr, com pintura eletrostática branca e vidro transparente incolor com espessura de 4 mm (1,20x1,20 m)
Sacada*	Porta de alumínio, 2 folhas de giro, com pintura eletrostática branca e vidro de segurança transparente incolor com espessura de 4 mm (1,35x2,18 m)	-
Área Externa	Porta de alumínio, 2 folhas de giro, com pintura eletrostática branca e vidro de segurança transparente incolor com espessura de 4 mm (1,80x2,18 m)	Janela de alumínio, 2 folhas de correr, com pintura eletrostática branca e vidro transparente incolor com espessura de 4 mm (1,15x0,60 m) Janela de alumínio, 1 folha maxi-ar, com pintura eletrostática branca e vidro mini boreal incolor 4 mm (0,60x0,60 m)

* Apenas os apartamentos com finais 01 e 04 possuem sacada