

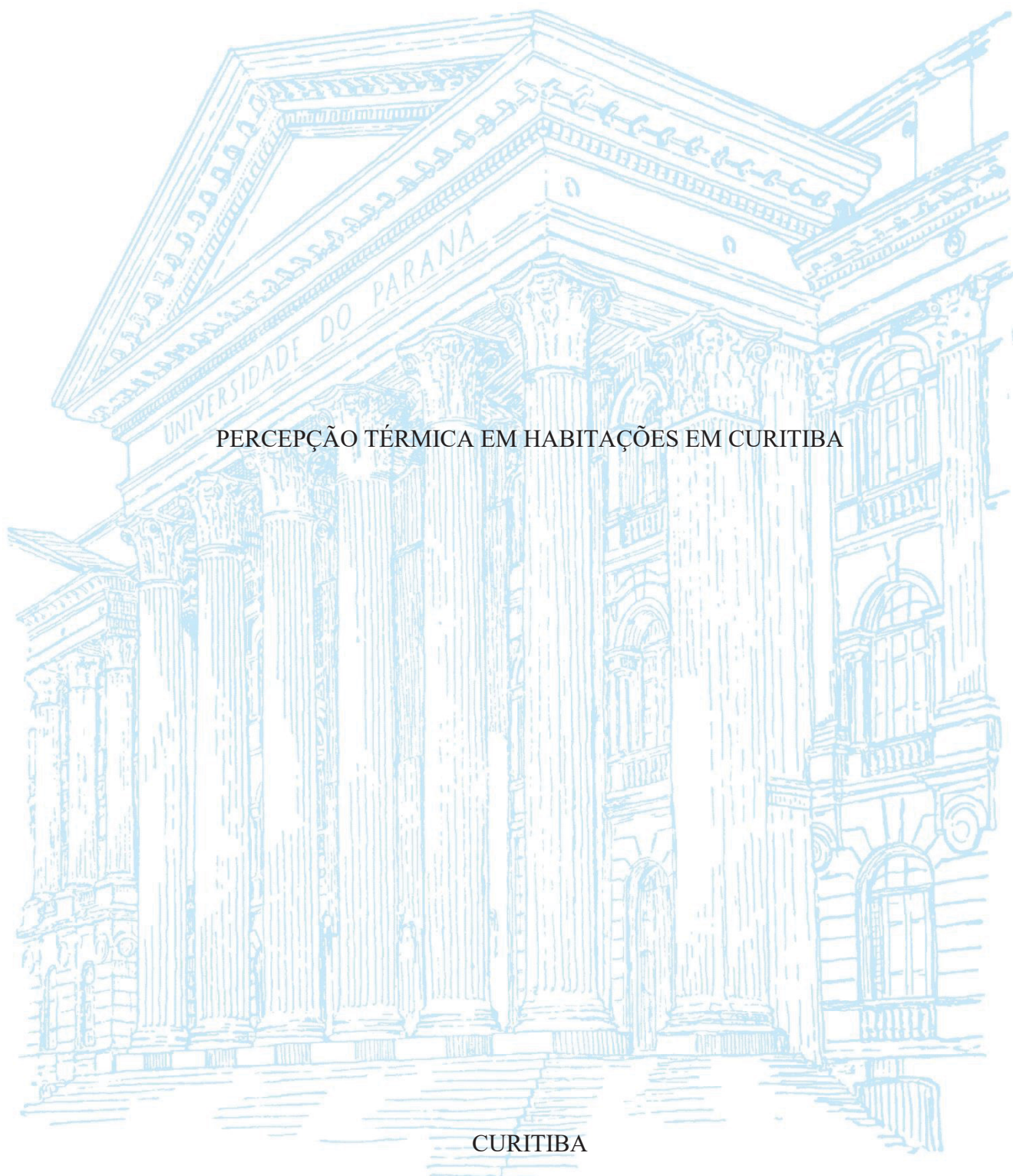
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO ADOLFO MOREIRA

PERCEPÇÃO TÉRMICA EM HABITAÇÕES EM CURITIBA

CURITIBA

2022



JOÃO ADOLFO MOREIRA

PERCEPÇÃO TÉRMICA EM HABITAÇÕES EM CURITIBA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, área de concentração Ambiente Construído e Gestão, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Carlos Fernandes.

Coorientador: Prof. Dr. Pedro Augusto Breda Fontão.

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Moreira, João Adolfo

Percepção térmica em habitações em Curitiba / João Adolfo Moreira. – Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Carlos Fernandes.

Coorientador: Prof. Dr. Pedro Augusto Breda Fontão.

1. Habitação. 2. Conforto térmico. 3. Ventilação. I. Fernandes, Leandro Carlos. II. Fontão, Pedro Augusto Breda. III. Universidade Federal do Paraná. Programa de pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA CIVIL -
40001016049P2

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **JOÃO ADOLFO MOREIRA** intitulada: **PERCEPÇÃO TÉRMICA EM HABITAÇÕES EM CURITIBA**, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 18 de Outubro de 2022.

Assinatura Eletrônica
19/10/2022 09:27:33.0
LEANDRO CARLOS FERNANDES
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
19/10/2022 10:13:52.0
MARCIO JOSÉ SORGATO
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
19/10/2022 09:20:27.0
EDUARDO GRALA DA CUNHA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS)

Assinatura Eletrônica
19/10/2022 15:42:37.0
SOLANGE MARIA LEDER
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA/UFPB)

À minha mãe Anair (*in memoriam*) e ao meu pai José (*in memoriam*).

Às irmãs e ao irmão: Rose, Dete, Liza, Rosani, Angelo, Rosangela e Meri.

Aos sobrinhos e às sobrinhas.

Ao meu filho Antonio.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná, minha *alma mater*.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, aos seus docentes e servidores.

À CAPES, pelo fomento à pesquisa.

Ao meu orientador professor Leandro Carlos Fernandes e ao coorientador Pedro Augusto Breda Fontão pela ajuda fundamental no desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Aos membros das bancas de qualificação e defesa, pelas contribuições para o aperfeiçoamento deste estudo.

Aos professores Rudnei Ferreira Campos e Paulo Chiesa, e à professora Maria Luísa Marques Dias, pelo incentivo no ingresso na pós-graduação.

Ao professor Aloísio Leoni Schmid pelas aulas de Métodos de Pesquisa e pelo fornecimento de equipamento necessário à coleta de dados.

Ao Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná - SIMEPAR pelos dados meteorológicos fornecidos.

A Elimar Kauffman e Johann Kamien pelo suporte e tentativas de viabilização do experimento na Casa do Estudante Universitário do Paraná.

À minha irmã Rosani pelo suporte e paciência.

Aos amigos e às amigas Ricardo Serraglio Polucha, Juliana Calabria, Camila França, Aleverson Ecker e Fernanda Serraglio Polucha pelo apoio e participação.

À amiga Melissa Lesnovski, que gentilmente dividiu seus conhecimentos sobre estudos em tempos pandêmicos.

À amiga Daisy Fabris pelo ombro amigo.

À amiga Wendy Ferreto pela amizade e carinho de sempre.

Ao amigo Marcio Michalkiewicz pelo companheirismo e sabedoria.

À amiga Carla Haiduk, pelas conversas e pelos memes.

A todos e todas que participaram respondendo aos questionários.

.... Por que foi que cegámos, Não sei, talvez um dia se chegue a conhecer a razão, Queres que te diga o que penso, Diz, Penso que não cegámos, penso que estamos cegos, Cegos que vêem, Cegos que, vendo, não vêem.

José Saramago.

RESUMO

O ser humano despende a maior parte do seu tempo em ambientes internos de edificações, especialmente nas residências. Mesmo que a tipologia habitacional componha a maioria das edificações produzidas, a maior parte das pesquisas sobre percepção térmica é realizada em escritórios ou escolas, principalmente no período diurno. Como consequência, os modelos de conforto térmico para projeto de habitações são baseados em dados de pesquisas realizadas em edificações com outras funções. Esta pesquisa tem o objetivo de elaborar um estudo sobre a aceitabilidade e conforto térmico humano em habitações da cidade de Curitiba e sua região metropolitana. Parte-se da hipótese de que a percepção térmica da população de Curitiba é adaptada à cultura e às condições ambientais locais, podendo diferir dos modelos de conforto térmico utilizados nas normativas vigentes. Em um primeiro momento, devido às restrições impostas pela pandemia de COVID-19, foram conduzidos *surveys*, com coleta de dados qualitativos utilizando um questionário *online* e relacionando com dados de variáveis ambientais externas registradas por estação meteorológica. Posteriormente foi colocado em prática um experimento com medição de variáveis ambientais internas de oito apartamentos através de *dataloggers* e com coleta concomitante de dados sobre a percepção térmica dos usuários dessas unidades habitativas. A partir dos dados coletados foram elaborados gráficos ilustrativos, e os resultados foram comparados a modelos de conforto térmico de referência disponíveis na literatura e normativas vigentes. Paralelamente desenvolveu-se um outro experimento para verificar se a umidade relativa poderia ser estimada em função dos dados do ambiente externo (pressão atmosférica e umidade absoluta) e dessa forma compensar a necessidade de equipamentos para registro desta variável. Os resultados mostraram que os participantes foram mais tolerantes ao frio do que o previsto pelo modelo adaptativo. Também mostraram que não é possível estimar a umidade relativa no interior das edificações a partir de outros fatores com a precisão necessária para pesquisas sobre percepção térmica quando essa variável é considerada.

Palavras-chaves: Percepção térmica. Ventilação natural. Conforto térmico. Habitações.

ABSTRACT

Human beings spend most of their time indoors, especially in their homes. Even though the housing typology composes most of the buildings produced, most of the research on thermal perception is carried out in offices or schools, especially during daytime. As a consequence, thermal comfort models for housing design are based on data from research carried out in buildings with other functions. This research aims to elaborate a study on acceptability and human thermal comfort in dwellings in the city of Curitiba and its metropolitan area. This study defends the hypothesis that the thermal perception of the population of Curitiba is adapted to the local culture and environmental conditions, and may differ from the models of thermal comfort used in current regulations. At first, due to the restrictions imposed by the COVID-19 pandemic, surveys were conducted, with qualitative data collection using online questionnaire and relating it to data from external environmental variables recorded by a weather station. Later, it was conducted an experiment which measured indoor environmental variables in eight apartments using dataloggers and at the same time collected data on the thermal perception of the users of these housing units. From the data collected, illustrative graphs were prepared, and the results were compared to reference thermal comfort models available in the literature and current standards. In parallel, another experiment was developed to verify whether the relative humidity could be estimated as a function of the external environment data (atmospheric pressure and absolute humidity) and thus compensate for the need for equipment to record this variable. The results show that the participants were more tolerant to cold than predicted by the adaptive model. They also showed that it is not possible to estimate the relative humidity inside buildings from other factors with the accuracy required for research on thermal perception when this variable is considered.

Keywords: Thermal perception. Natural ventilation. Thermal comfort. Dwelling.

RIASSUNTO

Gli esseri umani trascorrono la maggior parte del loro tempo all'interno degli edifici, in particolare nelle abitazioni. Anche se la tipologia abitativa costituisce la maggior parte degli edifici prodotti, la maggior parte delle ricerche sulla percezione termica viene effettuata in uffici o scuole, soprattutto durante le ore diurne. Di conseguenza, i modelli di comfort termico per la progettazione delle abitazioni si basano su dati provenienti da ricerche effettuate in edifici con altre funzioni. Questa ricerca si propone di elaborare uno studio sull'accettabilità e sul comfort termico umano nelle abitazioni della città di Curitiba e della sua zona metropolitana. Si presume che la percezione termica della popolazione di Curitiba sia adattata alla cultura e alle condizioni ambientali locali e possa differire dai modelli di comfort termico utilizzati nelle normative vigenti. A tal fine, in un primo momento, a causa delle restrizioni imposte dalla pandemia di COVID-19, sono state condotte delle *surveys*, con la raccolta di dati qualitativi utilizzando un questionario *online* e mettendoli in relazione con i dati delle variabili ambientali esterne registrati da una stazione meteorologica. Successivamente, è stata messa in pratica una sperimentazione con la misurazione delle variabili ambientali interne di otto appartamenti tramite *dataloggers* e la contestuale raccolta di dati sulla percezione termica degli utenti di queste unità abitative. Dai dati raccolti sono stati elaborati grafici illustrativi e i risultati sono stati confrontati con i modelli di comfort termico di riferimento disponibili nella letteratura e nelle normative vigenti. Parallelamente, è stato sviluppato un altro esperimento per verificare se l'umidità relativa potesse essere stimata in funzione dei dati dell'ambiente esterno (pressione atmosferica e umidità assoluta) e quindi compensare la necessità di strumenti per registrare questa variabile. I risultati mostrano che i partecipanti erano più tolleranti al freddo di quanto previsto dal modello adattivo. Hanno inoltre dimostrato che non è possibile stimare l'umidità relativa all'interno degli edifici da altri fattori con l'accuratezza necessaria per la ricerca sulla percezione termica quando si considera questa variabile.

Parole chiave: Percezione termica. Ventilazione naturale. Comfort termico. Abitazioni.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PORCENTAGEM DE TEMPO DIÁRIO GASTO EM CADA AMBIENTE.....	18
FIGURA 2 - PARTICIPAÇÃO SETORIAL NO CONSUMO DE ELETRICIDADE EM 2020.....	19
FIGURA 3 - PARTICIPAÇÃO NO CONSUMO FINAL DE ELETRICIDADE POR EQUIPAMENTO - USO FINAL NO SETOR RESIDENCIAL.	20
FIGURA 4 - UNIDADES PRODUZIDAS POR ANO. 2000-2016.	24
FIGURA 5 - CARTA BIOCLIMÁTICA ADAPTADA	36
FIGURA 6 - FAIXAS DE TEMPERATURAS OPERATIVAS ACEITÁVEIS PARA ESPAÇOS CONDICIONADOS NATURALMENTE.....	37
FIGURA 7 – THE SCALES PROJECT - APLICAÇÕES E PARTICIPANTES.....	38
FIGURA 8 - MAPA DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	53
FIGURA 9 - TIPOS CLIMÁTICOS DA REGIÃO SUL DO BRASIL, SEGUNDO KOPPEN.	54
FIGURA 10 - COMPARAÇÃO ENTRE A MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÉDIAS.....	55
FIGURA 11 - COMPARAÇÃO ENTRE A MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS E MÁXIMAS	55
FIGURA 12 – LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CURITIBA S810	59
FIGURA 13 – EDIFÍCIO RIO JORDÃO, RUA SÃO GABRIEL.....	62
FIGURA 14 – PLANTA DO APARTAMENTO 01	63
FIGURA 15 – EDIFÍCIO GEMINI, A PARTIR DA RUA VISCONDE DE NACAR.....	64
FIGURA 16 – PLANTA DO APARTAMENTO 04 - NÍVEL SUPERIOR.....	65
FIGURA 17 – EDIFÍCIO SAMAMBAIA	66
FIGURA 18 – PLANTA DO APARTAMENTO 05	67
FIGURA 19 – POSIÇÃO DO MÓDULO DE MONITORAMENTO - APARTAMENTO 05	67
FIGURA 20 – EDIFÍCIO MARTIM AFONSO	68
FIGURA 21 – PLANTA DO APARTAMENTO 06	69
FIGURA 22 – POSIÇÃO DO MÓDULO DE MONITORAMENTO - APARTAMENTO 06	70
FIGURA 23 – EDIFÍCIO PARQUE RESIDENCIAL BATEL - FACHADA	71
FIGURA 24 – APARTAMENTO 07 - PLANTA.....	71
FIGURA 25 – EDIFÍCIO PARQUE RESIDENCIAL BATEL – POSIÇÃO DO MÓDULO DE MONITORAMENTO	72
FIGURA 26 – EDIFÍCIO ORION - FACHADA.....	73
FIGURA 27 – EDIFÍCIO ORION – POSIÇÃO DO MÓDULO DE MONITORAMENTO	73
FIGURA 28 – EDIFÍCIO ORION - PLANTA	74
FIGURA 29 – MEDIDOR DE ESTRESSE TÉRMICO – TGD300.....	75
FIGURA 30 – MÓDULO DE MONITORAMENTO	75
FIGURA 31 - <i>DATALOGGER</i> ONSET, Modelo HOBO U12	76

FIGURA 32 – <i>DATALOGGER</i> ELITECH, modelo RC-4./RC4-HC.....	77
FIGURA 33 – LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA E DOS EDIFÍCIOS ESTUDADOS.....	79
FIGURA 34 - SPREADSHEETS FOR THE CALCULATION OF THERMAL COMFORT INDICES PMV AND PPD.....	80
FIGURA 35 - PÁGINA INICIAL DA FERRAMENTA <i>CBE THERMAL COMFORT TOOL</i>	81
FIGURA 36 – POSIÇÃO DO <i>DATALOGGER</i> – CENTRO POLITÉCNICO.....	85
FIGURA 37 - VALORES DE TEMPERATURA (°C) E UMIDADE RELATIVA (%) REGISTRADO REGISTRADOS PARA O TESTE DE CALIBRAÇÃO DOS DATA LOGGERS 1 E 2.....	86
FIGURA 38 - FAIXA ETÁRIA DOS RESPONDENTES – ETAPA 1.....	88
FIGURA 39 - TEMPERATURAS EXTERNAS DO AR – 06 A 10 DE MAIO DE 2021.....	89
FIGURA 40 - TEMPERATURAS EXTERNAS DO AR - 29/06 A 04/07/2021.....	90
FIGURA 41 - TEMPERATURAS EXTERNAS DO AR – 29/7 A 01/08/2021.....	91
FIGURA 42 - VOTOS DE SENSAÇÃO TÉRMICA – ETAPA 1.....	92
FIGURA 43 - VOTOS DE CONFORTO TÉRMICO – ETAPA 1.....	94
FIGURA 44 - VOTO DE PREFERÊNCIA TÉRMICA – ETAPA 1.....	95
FIGURA 45 - VOTOS DE PREFERÊNCIA POR MOVIMENTO DO AR – ETAPA 1.....	97
FIGURA 46 - VOTOS OPINIÃO CARACTERÍSTICA DA RESIDÊNCIA NO INVERNO – ETAPA 1.....	99
FIGURA 47 - TEMPERATURA INTERNA E EXTERNA DO AR.....	101
FIGURA 48 - DADOS MEDIDOS X DADOS ESTIMADOS.....	102
FIGURA 49 - DIFERENÇAS ENTRE OS DADOS MEDIDOS E ESTIMADOS.....	102
FIGURA 50 - TEMPERATURAS E UMIDADE RELATIVA NOS.....	103
FIGURA 51 - UMIDADE RELATIVA MEDIDA INTERNA E EXTERNAMENTE AO APARTAMENTO E UMIDADE RELATIVA ESTIMADA PARA SEU INTERIOR (PELO MÉTODO DA ASHRAE E PELO MÉTODO DE ANTOINE).....	104
FIGURA 52 – CORRELAÇÃO ENTRE DADOS ESTIMADOS E MEDIDOS A PARTIR DOS MÉTODOS ASHRAE (A) E ANTOINE (B).....	105
FIGURA 53 – DIFERENÇAS ENTRE OS VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS PARA A UMIDADE RELATIVA NO INTERIOR DO APARTAMENTO MONITORADO.....	107
FIGURA 54 – DIFERENÇAS ENTRE DADOS ESTIMADOS E MEDIDOS UTILIZANDO OS MÉTODOS PARA ESTIMATIVA ASHRAE E ANTOINE.....	107
FIGURA 55 – ÍNDICE CLO – ETAPA 2.....	110
FIGURA 56 – TEMPERATURAS – ETAPA 2.....	111
FIGURA 57 - VOTOS QUANTO À SENSAÇÃO TÉRMICA <i>VERSUS</i> PERCENTUAL ESTIMADO DE PESSOAS INSATISFEITAS.....	114
FIGURA 58 - VOTOS QUANTO À SENSAÇÃO TÉRMICA <i>VERSUS</i> VOTO MÉDIO ESTIMADO (PMV).....	115

FIGURA 59 – VOTOS SENSACÃO TÉRMICA – ETAPA 2.....	116
FIGURA 60 – DADOS COM ÍNDICE CLO <0,5	118
FIGURA 61 - PLOTAGEM DOS DADOS COM ÍNDICE $0,5 \geq CLO \leq 1,0$	119
FIGURA 62 - PLOTAGEM DA LINHA DE TENDÊNCIA SOBRE O CONJUNTO DE DADOS COM ÍNDICE $0,5 \geq CLO \leq 1,0$	120
FIGURA 63 - PLOTAGEM DOS DADOS COM ÍNDICE $CLO > 1,0$	121
FIGURA 64 - RELAÇÃO ENTRE SATISFAÇÃO TÉRMICA E SATISFAÇÃO COM O CONFORTO TÉRMICO PROPORCIONADO PELO AMBIENTE.....	122
FIGURA 65 – VOTO CONFORTO TÉRMICO – ETAPA 2.....	123
FIGURA 66 – VOTO PREFERÊNCIA TÉRMICA – ETAPA 2	124
FIGURA 67 – VOTOS RELATIVOS A SENSACÃO TÉRMICA E PREFERÊNCIA TÉRMICA – ETAPA 2.....	125
FIGURA 68 – VOTOS MOVIMENTO DO AR – ETAPA 2.....	126
FIGURA 69 - VOTOS OPINIÃO CARACTERÍSTICA DA RESIDÊNCIA NO INVERNO – ETAPA 2.....	127
FIGURA 70 – VOTOS SENSACÃO TÉRMICA E OPINIÃO CARACTERÍSTICA DA RESIDÊNCIA NO INVERNO – ETAPA 2.....	128

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - RESUMO CONCEITO DE CONFORTO TÉRMICO.....	30
QUADRO 2 – CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA.....	51
QUADRO 3 – SÍNTESE DAS ETAPAS DE PESQUISA	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COMPARAÇÃO ENTRE GRAUS DE CONFORTO E DESCONFORTO E RESPECTIVAS ESTRATÉGIAS PARA OS ANOS DE 1969 E 2001	56
TABELA 2 – LISTA DE APARTAMENTOS MONITORADOS.....	61
TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS DOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS NA SEGUNDA ETAPA.....	78
TABELA 4 - RESUMO DOS DADOS COLETADOS.....	87
TABELA 5 – CAMPANHAS DE COLETAS.....	87
TABELA 6 – SEXO DOS RESPONDENTES	88
TABELA 7 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTOS SENSACÃO TÉRMICA – ETAPA 1.....	93
TABELA 8 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTOS CONFORTO TÉRMICO – ETAPA 1	94

TABELA 9 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTOS PREFERÊNCIA TÉRMICA – ETAPA 1 ...	96
TABELA 10 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTOS MOVIMENTO DO AR – ETAPA 1.....	97
TABELA 11 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTOS OPINIÃO CARACTERÍSTICA DA RESIDÊNCIA NO INVERNO – ETAPA 1.....	99
TABELA 12 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS DIFERENÇAS ENTRE OS DADOS MEDIDOS E ESTIMADOS PARA A UMIDADE RELATIVA SEGUNDO O MÉTODO DE ANTOINE.	106
TABELA 13 – PERFIL DOS RESPONDENTES – ETAPA 2	109
TABELA 14 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA –ÍNDICE CLO – ETAPA 2.....	110
TABELA 15 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA – TEMPERATURAS EXTERNAS E TEMPERATURAS OPERATIVAS – ETAPA 2	112
TABELA 16 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NO	113
TABELA 17 - VARIÁVEIS INTERNAS NO MOMENTO DAS RESPOSTAS.	113
TABELA 18 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTO SENSACÃO TÉRMICA – ETAPA 2.....	116
TABELA 19 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTO CONFORTO TÉRMICO – ETAPA 2	123
TABELA 20 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTO PREFERÊNCIA TÉRMICA – ETAPA 2 .	124
TABELA 21 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTO MOVIMENTO DO AR – ETAPA 2.....	126
TABELA 22 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTOS OPINIÃO CARACTERÍSTICA DA RESIDÊNCIA NO INVERNO – ETAPA 2.....	127

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 - TEMPERATURA OPERATIVA.....	42
EQUAÇÃO 2 – TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA.	42
EQUAÇÃO 3 – TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA.	43
EQUAÇÃO 4 – TEMPERATURA OPERATIVA NEUTRA.	43
EQUAÇÃO 5 – PRESSÃO DE AR SECO.....	44
EQUAÇÃO 6 – PRESSÃO DE VAPOR SATURADO	45
EQUAÇÃO 7 – PRESSÃO DE VAPOR SATURADO.	45
EQUAÇÃO 8 – PRESSÃO DE VAPOR SATURADO (ANTOINE).	46
EQUAÇÃO 9 – PRESSÃO ATUAL DE VAPOR.	47
EQUAÇÃO 10 – PRESSÃO ATMOSFÉRICA.....	48
EQUAÇÃO 11 – PRESSÃO ATMOSFÉRICA.....	48
EQUAÇÃO 12 – UMIDADE EM KG DE VAPOR/KG DE AR SECO.	49
EQUAÇÃO 13 – UMIDADE EM G DE VAPOR/KG DE AR SECO.	49
EQUAÇÃO 14 – PRESSÃO ATUAL DE VAPOR.	50
EQUAÇÃO 15 – UMIDADE RELATIVA.....	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	17
1.2	HIPÓTESE	20
1.3	OBJETIVOS	21
1.4	JUSTIFICATIVA	22
1.4.1	Importância da pesquisa sobre conforto térmico de edificações residenciais	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	CONFORTO TÉRMICO: CONCEITO	25
2.1.1	Conforto térmico: histórico de estudos	27
2.1.2	Modelo estático de conforto	31
2.1.3	Abordagem adaptativa	32
2.1.4	Modelos de conforto térmico e normativas vigentes	35
2.2	ESTADO DA ARTE	37
2.2.1	Pesquisas de percepção térmica realizadas no exterior	37
2.2.2	Pesquisas de percepção térmica realizadas no Brasil	40
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	42
3.1	MODELO ADAPTATIVO DE PERCEPÇÃO TÉRMICA	42
3.2	MODELO DE FANGER	43
3.3	ESTIMATIVA DE VALORES DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS DO AMBIENTE INTERNO EM FUNÇÃO DOS VALORES NO AMBIENTE EXTERNO	44
3.3.1	Pressão de ar seco (Pas) do ambiente externo	44
3.3.2	Pressão de vapor saturado (Pvs) do ambiente externo	45
3.3.3	Pressão atual de vapor (Pv) do ambiente externo	47
3.3.4	Pressão atmosférica nos ambientes externo e interno (Patm)	47
3.3.5	Umidade absoluta (w)	48
3.3.6	Umidade relativa (UR)	49
4	MATERIAIS E MÉTODOS	51
4.1	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA	53
4.2	PRIMEIRA ETAPA	56
4.2.1	Questionário	57
4.2.2	Coleta de dados meteorológicos	58
4.2.3	Análise de dados	59
4.3	SEGUNDA ETAPA	60
4.3.1	Questionário	60

4.3.2	Moradias monitoradas	61
4.3.3	Monitoramento de dados dos ambientes internos	74
4.3.4	Monitoramento de dados do ambiente externo	78
4.3.5	Processamento dos dados coletados	79
4.3.6	Análise dos dados	81
4.3.7	Teste da hipótese da umidade relativa.....	82
5	RESULTADOS E ANÁLISES	87
5.1	PRIMEIRA ETAPA.....	87
5.1.1	Perfil dos respondentes.....	88
5.1.2	Variáveis ambientais	89
5.1.3	Dados sobre respostas sobre conforto térmico	91
5.2	SEGUNDA ETAPA.....	100
5.2.1	Hipótese da umidade relativa	100
5.2.2	Perfil dos respondentes.....	108
5.2.3	Nível de isolamento térmico da vestimenta (clo).....	109
5.2.4	Variáveis ambientais	110
5.2.5	Análise considerando a perspectiva do modelo de Fanger.....	114
5.2.6	Análise considerando a perspectiva do modelo adaptativo	115
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	129
6.1	Limitações da pesquisa.....	130
6.2	Sugestões a trabalhos futuros	131
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
	APÊNDICE 1 - QUESTIONÁRIO – PRIMEIRA ETAPA/2021	140
	APÊNDICE 2 - QUESTIONÁRIO – SEGUNDA ETAPA/2022	151

1 INTRODUÇÃO

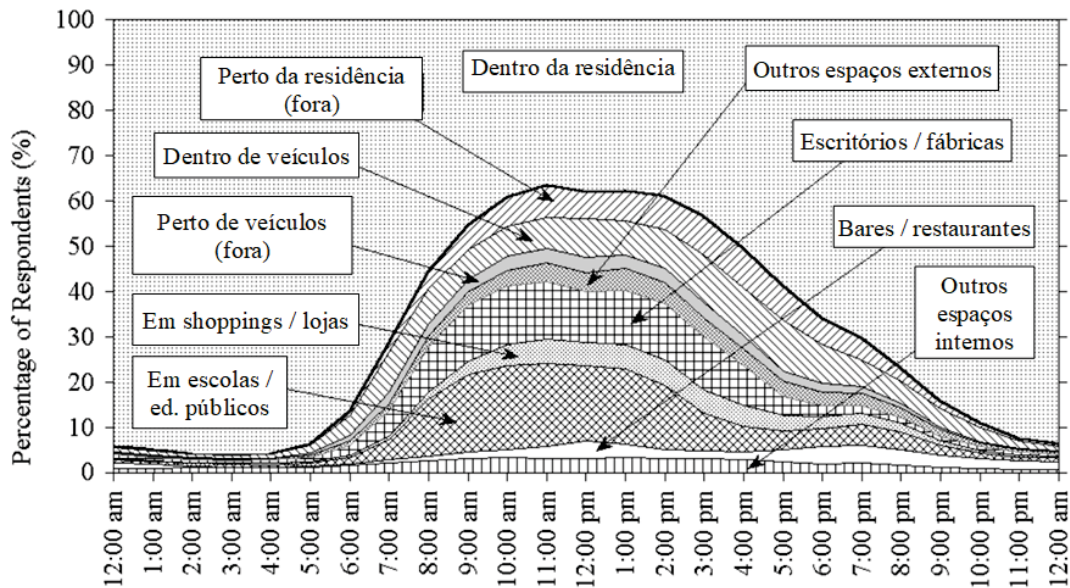
O ser humano despende a maior parte do seu tempo em ambientes internos de edificações, especialmente em residências, notadamente no período noturno (KLEPEIS *et al.*, 2001). As habitações também são o tipo de edificação mais comum. Apesar disso, a grande maioria das pesquisas sobre percepção térmica são realizadas em escritórios ou escolas, no período diurno. Como consequência, os modelos de conforto térmico para projeto de habitações são baseados principalmente em dados de pesquisas realizadas em edificações com outras funções (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997). Por outro lado, no Brasil, devido à escassez de pesquisas, os modelos de conforto térmico difundidos, inclusive os modelos adaptativos, são importados, sem maior adequação ao contexto local (PEREIRA; ASSIS, 2010).

Schweiker *et al.* (2019) afirmam que compreender as causas do desconforto térmico é crucial para o projeto e operação de qualquer tipo de edifício. Para tanto, pesquisas sobre percepção térmica humana utilizando escalas de classificação vêm sendo realizadas há décadas.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Uma pesquisa sobre costumes realizada nos Estados Unidos (KLEPEIS *et al.*, 2001) mostrou que, em média, a população local passa 87% de seu tempo no interior de edificações (FIGURA 1). Deste total, 68,7% tempo é gasto no interior de residências. Do tempo no interior de residências, somente 1/3 se dá em período diurno. 2/3 se dão no período noturno (KLEPEIS, 2001).

FIGURA 1 - PORCENTAGEM DE TEMPO DIÁRIO GASTO EM CADA AMBIENTE



FONTE: adaptado de Klepeis et al. (2001).

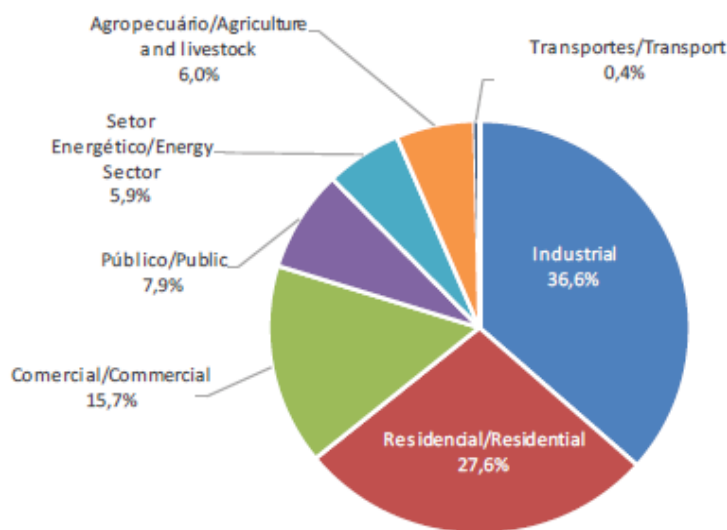
Entretanto, na maioria dos estudos realizados, os levantamentos de percepção térmica são efetuados em edifícios comerciais e educacionais no período diurno (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997). Conseqüentemente, os modelos de conforto térmico utilizados para orientar projetos de habitações tomam como base dados de pesquisas realizadas em edificações com outras funções e não apresentam medidas de adequação para conforto nos períodos pré-reposo e de reposo. No Brasil, devido ao número reduzido de pesquisas sobre o tema, os modelos de conforto térmico difundidos, inclusive os modelos adaptativos, são importados, sem adequação ao contexto local (PEREIRA; ASSIS, 2010).

Uma grande quantidade de lançamentos de novos empreendimentos habitacionais ocorreu nos últimos anos no país. De 2016 a 2019 foram 422.429 novas unidades residenciais, conforme dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2020). Dentre o montante dessas unidades, destacam-se as habitações condicionadas naturalmente. Enquanto em países como China e Estados Unidos cada residência possui aproximadamente 1 e 2 aparelhos, respectivamente, no Brasil estima-se 0,4 aparelhos (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2018a). Se considerarmos a concentração desses aparelhos em relação à classe econômica, pode-se dizer que a maioria das habitações (mais de 60 %) é condicionada naturalmente. Esse fato reforça a importância dos modelos adaptativos de conforto térmico.

O fato de haver a necessidade de instalação de meios mecânicos para condicionamento térmico em edificações já existentes demonstra a importância de modelos adaptativos, uma vez que é um indício de que essas edificações apresentam desempenho térmico aquém do esperado pelos usuários. Em outros termos, evidencia a urgência do aprimoramento de modelos adaptativos de conforto térmico para que sirvam de parâmetros para projetos de habitações ou reformas de moradias existentes.

Um dos impactos da inadequação das moradias é o aumento da pressão sobre o sistema gerador de energia elétrica. No período de 2005 até 2017 o número de domicílios particulares permanentes no país passou de 53,41 milhões para 72,4 milhões, um aumento de 35,6 % (IBGE, 2020). O consumo de energia elétrica do setor residencial apresentou uma curva de crescimento, passando de 83 TWh em 2005 para 174,74 TWh em 2020. A classe residencial foi responsável por 27,6% do consumo total de eletricidade no país (FIGURA 2) (EPE, 2021).

FIGURA 2 - PARTICIPAÇÃO SETORIAL NO CONSUMO DE ELETRICIDADE EM 2020.



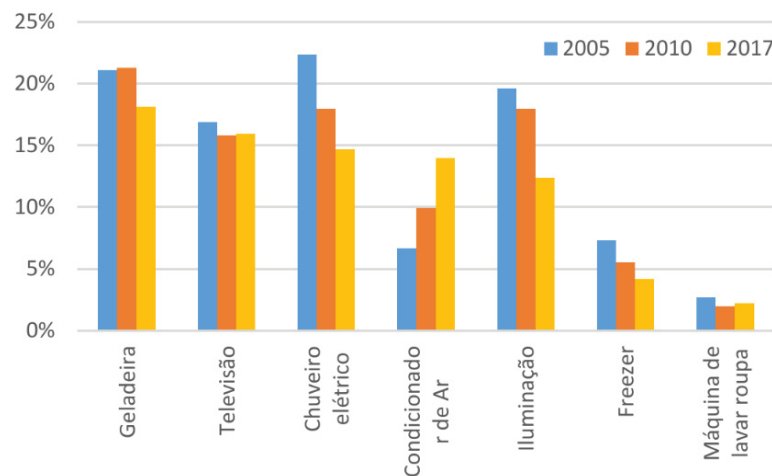
FONTE: EPE (2021).

Estima-se que o consumo de energia elétrica ocasionado pelo uso de condicionadores de ar no setor residencial tenha mais que triplicado no período de 2005 até 2017, atingindo 18,7 TWh, sendo que a posse de equipamentos nas residências aumentou 9 % ao ano (EPE, 2018).

O aumento no número de domicílios (IBGE, 2020) e usuários de ar condicionado, associado ao pequeno avanço na eficiência energética dos aparelhos (apenas 8% em 12 anos),

resultou no aumento da participação dos aparelhos para climatização no consumo final de eletricidade por equipamento no setor residencial (FIGURA 3). Em 2017, o condicionador de ar já era o quarto equipamento que mais consumia eletricidade nos domicílios, cuja participação passou de 7%, em 2005, para 14% (EPE, 2018 a ou b?).

FIGURA 3 - PARTICIPAÇÃO NO CONSUMO FINAL DE ELETRICIDADE POR EQUIPAMENTO - USO FINAL NO SETOR RESIDENCIAL.



FONTE: EPE (2021).

Tendo em vista o exposto, uma das condicionantes para o projeto de edificações em ambientes sem condicionamento mecânico a se considerar é o intervalo de temperaturas considerado como adequado para os usuários. Esse intervalo de temperaturas adequadas varia de uma população para a outra, sofrendo interferência de hábitos, idade e também do ambiente. Em Curitiba, qual seria esse intervalo de temperatura considerado adequado em ambientes residenciais condicionados naturalmente no período de inverno? Como os moradores de Curitiba e região avaliam o desempenho térmico de suas moradias no período frio? Os modelos adaptativos para definição das temperaturas recomendadas para ambientes internos de habitações condicionadas naturalmente são adequados para as residências de Curitiba e região?

1.2 HIPÓTESE

Esta pesquisa adota a hipótese de que a percepção térmica da população de Curitiba é adaptada à cultura e às condições ambientais locais, fazendo com que os intervalos de

temperaturas preferidos possam diferir dos indicados pelos modelos adaptativos de conforto térmico mais utilizados na literatura científica. A partir de levantamento extensivo sobre percepção térmica com voluntários, seria possível elaborar um modelo preditivo genérico que relacione temperaturas operativas internas com temperaturas externas do ar. Embora este trabalho pretenda abranger uma amostra limitada de respondentes, a experiência adquirida trará subsídios para estudos mais abrangentes.

Secundariamente, considerando que a umidade absoluta (em gramas de vapor por quilograma de ar seco) e a pressão atmosférica são mais ou menos estáveis em uma mesma região, este trabalho toma como hipótese a afirmação de que seja possível estimar a umidade relativa de ambientes internos a partir de outros parâmetros dos ambientes interno e externo.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa é investigar as preferências térmicas dos usuários de edificações residenciais em Curitiba e desenvolver um protocolo de coleta de dados para estudos com amostras amplas em pesquisas futuras.

Os objetivos específicos são:

1. Conhecer a opinião de uma amostra da população da Região Metropolitana de Curitiba sobre o ambiente térmico das suas habitações.
2. Verificar a possibilidade de reduzir do número de sensores utilizados em pesquisas sobre percepção térmica no interior das edificações, excluindo os sensores de umidade relativa.
3. Desenvolver um protocolo de pesquisa sobre percepção térmica dos usuários de edificações residenciais.
4. Comparar os resultados obtidos com os resultados estimados pelo modelo PMV.
5. Comparar os resultados obtidos com modelos de conforto adaptativo consolidados.

1.4 JUSTIFICATIVA

Como afirmam Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a eficiência energética nas edificações pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia pelo uso racional e da diminuição no consumo dos usos finais de iluminação, equipamentos e aquecimento de água, aliados à incorporação de fontes renováveis de energia. Pesquisas, normativas e legislações específicas apontam a necessidade da redução do consumo de energia nas edificações.

Para tanto, o projetista pode racionalizar o uso da energia do edifício, reduzindo o consumo em iluminação, condicionamento de ar e aquecimento de água. Para se atingir tal objetivo são sugeridas três possibilidades: usar sistemas naturais de iluminação e condicionamento, usar sistemas artificiais mais eficazes e, finalmente, integrar estes dois sistemas (natural e artificial) (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

Em 2010 a União Europeia editou diretiva objetivando a redução do consumo energético e a utilização de energia de fontes renováveis no setor da construção civil. A prerrogativa foi de que até o final de 2020 os novos empreendimentos tivessem balanço energético próximo a zero, (*Energy Performance Building Directive 2010/31/EU*). No Brasil o tema *Nearly Zero Energy Building* (nZEB) não foi estudado com profundidade, apesar da existência de regulamento para etiquetagem energética das edificações. Neste panorama nacional é necessário traçar diretrizes de projeto que levem em conta os atuais conceitos de sustentabilidade e eficiência energética das construções residenciais (SUDBRACK, 2017).

Para projetar um edifício de baixo impacto energético, o projetista necessita de recursos projetuais que permitam concretizar escolhas estratégicas e tecnológicas para alcançar esse objetivo.

Neste sentido, esta pesquisa se justifica por pretender ampliar o conhecimento a respeito da percepção térmica de moradores de Curitiba e região, conhecimento este que poderá subsidiar projetos de habitações com melhor desempenho térmico e energético.

1.4.1 Importância da pesquisa sobre conforto térmico de edificações residenciais

Os edifícios residenciais constituem a maior parte do conjunto de edificações no país. Em 2019, a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) estimou em 72,4 milhões o número de domicílios (casas, apartamentos ou cômodos) particulares permanentes, sendo aproximadamente 62 milhões caracterizados como casas e 10 milhões como apartamentos (IBGE, 2020).

De 2016 a 2019, constatou-se um aumento expressivo na oferta de imóveis, especialmente de 2 dormitórios seguidos daqueles de 3, sendo que a representatividade dos imóveis do Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) sobre o total de lançamentos foi de 50,6% em relação aos demais padrões conforme dados do 4º trimestre de 2019 (CBIC, 2020).

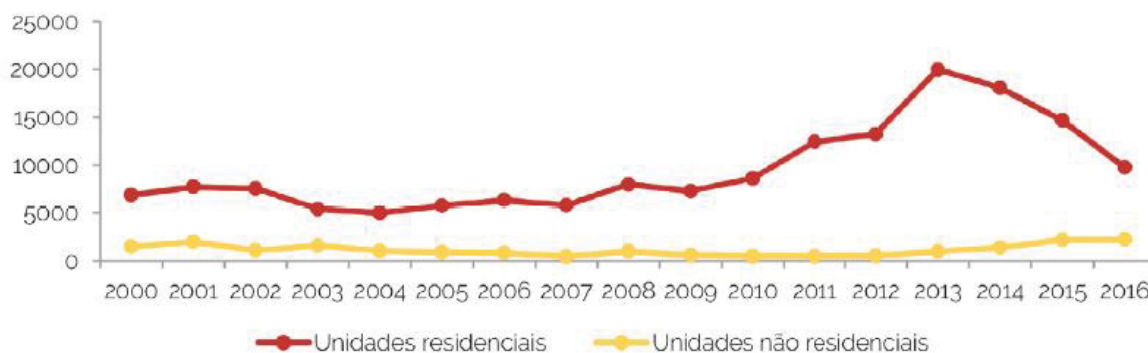
Em Curitiba, tem-se um panorama da evolução da construção de novas unidades habitacionais baseado em levantamento de dados feito pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC, 2018), relacionando alvarás de construção da Secretaria Municipal de Urbanismo (SMU) e os empreendimentos imobiliários que tiveram certificado de vistoria e conclusão de obra (CVCO) emitido entre 2000 e 2016.

Destes dados coletados e analisados pelo IPPUC (2018), compreende-se que os empreendimentos de uso exclusivamente residencial representaram 85% da produção imobiliária ocorrida no município de Curitiba nesse período.

Os empreendimentos habitacionais unifamiliares produzidos entre 2000 e 2016 representaram 61% do total da produção imobiliária e 72% da produção exclusivamente habitacional ocorrida em Curitiba nesse período. O uso habitacional unifamiliar em série foi o segundo uso com o maior número de empreendimentos produzidos, representando 19% do total ou 22% dos empreendimentos habitacionais. Por outro lado, as edificações de habitações coletivas concentraram 61% das unidades habitativas produzidas, mesmo que representem somente 5% do total de empreendimentos concluídos no período (IPPUC, 2018).

Os empreendimentos de uso misto representam 5% do total da produção imobiliária ocorrida em Curitiba entre 2000 e 2016 (Figura 4), o uso misto esteve presente nesse período em 12% das unidades residenciais produzidas e 34% das unidades não residenciais (IPPUC, 2018).

FIGURA 4 - UNIDADES PRODUZIDAS POR ANO. 2000-2016.



FONTE: IPPUC (2018).

Linck (2013) explicita que a necessidade de se diminuir o déficit habitacional no Brasil leva à adoção de projetos padronizados em empreendimentos de habitação social, que desconsideram as características climáticas regionais. Considera fundamental que projetos sejam baseados em estratégias bioclimáticas de modo a proporcionar maior conforto térmico nas edificações.

A adoção de tecnologias construtivas eficientes em termos de desempenho térmico é de grande relevância, principalmente se atingidas por meios mais econômicos e financeiramente acessíveis à população (BATISTA, 2006).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A percepção térmica do ambiente é um fator importante para ações de adaptação, tais como medidas para resfriamento e aquecimento de um ambiente, ou até mesmo a abertura de janelas. A ação pode ser descrita como princípio adaptativo, a partir do momento que uma mudança produz desconforto, os usuários tendem a agir para restaurar seu conforto (SCHWEIKER et al., 2019).

Auliciems e Szokolay (2007) afirmam que a construção e o controle do microclima tendem a homogeneizar os ambientes internos aos quais os humanos estão expostos. Esses desenvolvimentos podem ser impulsionados pelo mercado da construção, mas resulta que os humanos estão adaptando-se a uma faixa muito estreita de condições. Em um ecossistema global cada vez mais ameaçado pela degradação ambiental e mudanças climáticas antropogênicas, tal especialização em adaptação precisa ser examinada em termos de: a) sustentabilidade a longo prazo, e b) a “aptidão biológica” geral ou adaptabilidade da espécie humana.

Os seres humanos têm uma adaptabilidade bastante ampla, uma capacidade de aclimatação a condições diferentes, mas podem também ter sua qualidade de vida deteriorada. Habitar edifícios mantidos artificialmente e em ambientes homogeneizados reduziriam essa adaptabilidade, os limites de sobrevivência seriam reduzidos (AULICIEMS e SZOKOLAY, 2007).

Uma condição fundamental do bem-estar humano em termos de produtividade e saúde, parece ser quando se atinge um equilíbrio harmonioso entre a minimização de respostas fisiológicas (ou seja, o estado que subjetivamente consideramos como conforto térmico) e maximização da aclimatação (AULICIEMS e SZOKOLAY, 2007).

2.1 CONFORTO TÉRMICO: CONCEITO

Segundo a definição largamente utilizada da ASHRAE 55 (American Society for Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2020), o conforto térmico é um estado mental que expressa satisfação com o ambiente térmico e é medida por avaliação subjetiva.

De acordo com Hajime et al. (2017), a percepção térmica envolve processos físicos, fisiológicos além de processos psicológicos. Anteriormente se considerava conforto térmico como sinônimo de neutralidade da sensação térmica, o que é determinado por parâmetros físicos e fisiológicos.

Experimentos em ambientes controlados, como os conduzidos por Fanger (1970), baseados em modelos estáticos produziram uma faixa limitada de temperaturas confortáveis para os seres humanos. Por outro lado, em ambientes dinâmicos, como por exemplo edifícios ventilados naturalmente, os ocupantes são mais tolerantes a uma faixa mais ampla de temperaturas.

O fator psicológico é considerado importante para uma maior compreensão do impacto do ambiente térmico na saúde e no desempenho cognitivo dos usuários. Também são processos psicológicos os comportamentos de resposta pessoal (exemplo: remover peça de roupa), tecnológica (exemplo: ligar ar condicionado) ou cultural (exemplo: fazer sesta no horário mais quente) (HAJIME et al., 2017).

Para Antoniadou e Papadopoulos (2017), a compreensão do ambiente interno é um pré-requisito para melhorar as condições preexistentes e estabelecer um ambiente confortável e saudável para os ocupantes de uma forma eficiente em termos de energia e custo-benefício.

Al Horr et al. (2017) demonstram que o corpo humano tenta manter a temperatura em torno dos 37° C, com a troca de calor com o ambiente por convecção, radiação e evaporação. O conforto térmico é influenciado por seis fatores; quatro classificados como parâmetros ambientais, tais como a temperatura do ar, a temperatura radiante, umidade relativa do ar e velocidade do ar. Os outros dois parâmetros são classificados como fatores pessoais: taxas metabólicas do organismo e insulação de vestimentas.

Outros fatores tais quais gênero, idade e condições climáticas locais tem um impacto na percepção do ambiente interno pelo usuário (NICOL e HUMPHREYS, 2002)

Mesmo que o conceito de arquitetura passiva tenha evoluído, é ainda difícil aplicar padrões em locais de clima frio, por exemplo o norte da Europa, onde se faz necessário uso de condicionamento mecânico dos ambientes internos de modo a garantir níveis adequados para promover o conforto do usuário. Por outro lado, em climas tropicais os edifícios passivos são naturalmente ventilados e acabam consumindo significativamente menos energia (FISHER, 2000; NICOL E PAGLIANO, 2007 apud AL HERR et al., 2017).

Finalizando, Al Horr et al. (2017) sustentam que a adaptação física do ambiente e projeto de edifícios focados para conforto térmico devem ser pensadas na fase projetual, uma vez que alterações e adaptações pós construção se mostram ineficazes e custosas.

2.1.1 *Conforto térmico: histórico de estudos*

Auliciems e Szokolay (2007) resgatam a ideia que desde Sócrates, por volta de 400 a.C., refletia-se sobre a adequação climática das habitações humanas. Também Vitruvius (Século I a.C.) escreveu sobre a necessidade de considerar o clima no projeto de construção, por razões sanitárias e de conforto. Mesmo que estas preocupações tenham resultado em pouca influência sobre a prática da arquitetura.

Até a Revolução Industrial pode-se afirmar que os mecanismos passivos de controle ambiental se sobrepunham aos mecanismos ativos, dada a limitação de ferramentas disponíveis. A tecnologia de aquecimento dos ambientes teve uma implementação a partir do final do século 18 e o resfriamento mecânico tornou-se uma possibilidade no início do século XX (AULICIEMS e SZOKOLAY, 2007).

Para Antoniadou e Papadopoulos (2017), a compreensão do ambiente interno é um pré-requisito para melhorar as condições prevalecentes e estabelecer um ambiente confortável e saudável para os ocupantes de uma maneira eficiente em termos de energia e custo-benefício. Desde 1911, o conforto térmico vem sendo estudado por engenheiros, cientistas médicos e psicólogos. Onde a relação entre conforto e produtividade dos ocupantes era avaliada com o estabelecimento de modelos relacionados à anatomia e fisiologia humana e a atitude dos ocupantes em relação aos edifícios.

Nesse contexto, Fanger estabeleceu o índice de voto médio estimado (índice PMV) e a porcentagem estimada de insatisfeitos (PPD). O primeiro é um índice de parâmetros de condições múltiplas, onde a temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura do globo, taxa metabólica, vestimenta e umidade relativa são levados em consideração e por uma determinada equação matemática, apresentada na ISO 7730, onde quantifica o conforto térmico em uma escala de - 3 (frio) a +3 (quente). A abordagem metodológica adotada por Fanger foi como um deflagrador de outros estudos por outros pesquisadores, que desenvolveram seus próprios modelos. Durante a última década do século 20, dois outros modelos foram apresentados, baseados respectivamente nos modelos Stolwijk e Fanger, acrescentando a abordagem existente

para a produtividade dos ocupantes e sua adaptação ao ambiente interno (ANTONIADOU e PAPADOPOULOS, 2017).

Em 1995 Tanabe e sua equipe conduziram trabalhos baseados no modelo de Stolwijk e apresentaram um modelo qualitativo multiparâmetro, identificando o conforto térmico humano, considerando 16 áreas do corpo humano que afetam o conforto térmico dos ocupantes. Em 1998 Fiala apresentou uma evolução do modelo de Fanger, pela determinação do índice “Sensação Térmica Dinâmica” (*Dynamic Thermal Sensation* - índice DTS), focado na mudança dinâmica do calor emitido pelos corpos humanos (ANTONIADOU e PAPADOPOULOS, 2017).

Em 2002, foi desenvolvido o modelo *Adaptive Comfort Standard* (modelo ACS), o qual foi adotado pela ASHRAE-55. Com esta abordagem, foram especificadas faixas de condições ambientais internas aceitáveis para alcançar condições de conforto para os ocupantes.

Outros dois diferentes modelos de conforto foram desenvolvidos após 2010. Um foi elaborado por Zhang e publicado em 2010 e outro por Kingma em 2011. O primeiro se baseia em uma abordagem de simulação dinâmica de várias áreas do corpo humano e o nível de conforto é determinado em uma escala de -4 (muito frio) a +4 (muito quente), considerando as condições de temperatura do corpo. O outro modelo desenvolvido, conhecido como ThermoSEM, é um modelo matemático que enfatiza a neurofisiologia dos ocupantes (ANTONIADOU e PAPADOPOULOS, 2017).

Conforme Antoniadou e Papadopoulos (2017) os parâmetros considerados nos modelos foram introduzidos gradativamente, como parte de um processo evolutivo de determinação para melhor compreensão, especificação e quantificação do conforto. Como pode ser incluído a partir dos dados históricos coletados, a maioria das abordagens metodológicas de modelos de conforto aplicadas enfoca o corpo humano, as condições do ambiente interno e a combinação desses dois parâmetros. No entanto, as características individuais, socioeconômicas e psicológicas dos ocupantes ainda não fazem parte de um modelo de conforto estabelecido, portanto, uma análise mais aprofundada sobre esse aspecto parece ser adequada, sendo que dos modelos citados, dois foram adotados por Normas Internacionais, enquanto outros constituem uma base preliminar para os próximos modelos.

Especificamente, os modelos de Fanger e Brager & de Dear foram adotados em normas internacionais ISO 7730 e ASHRAE 55, respectivamente. No primeiro caso, a abordagem metodológica é baseada na determinação de um índice de voto médio estimado juntamente com

uma porcentagem de insatisfação dos ocupantes com base em parâmetros termo físicos e pessoais (atividade, roupas). No segundo caso, a abordagem adaptativa é delineada e uma variedade de parâmetros termo físicos são considerados baseados em intervalos aceitáveis determinados no ambiente interno (ANTONIADOU e PAPADOPOULOS, 2017).

QUADRO 1 - RESUMO CONCEITO DE CONFORTO TÉRMICO

ANO	AUTOR	Descrição do conceito
1911	Lefevre	O corpo humano foi simulado como uma esfera, cujo interior troca calor com o ambiente.
1920	Canter e Stringer; Gossauer e Wagner	A produtividade e a sensação de conforto dos ocupantes foi avaliada e determinou-se que possíveis mudanças no ambiente interno impactam na percepção dos ocupantes.
1934	Burton & Bazzet	Foi estabelecido o primeiro modelo matemático sobre conforto térmico. Levando em consideração a anatomia e características especiais das funções do corpo humano.
1936	Gagge	Com processamento experimental de dados sobre o corpo humano e seu entorno. Primeiro princípio da termodinâmica para o corpo humano foi demonstrado. Uma das abordagens fisiológicas mais básicas aplicadas, baseada em dois parâmetros: pele e órgãos internos.
1963	Royal Institute of British Architects - RIBA	Um modelo no qual os ocupantes tiveram suas reações monitoradas durante avaliações de edifícios. Desenvolvido e aplicado somente em certo período, e abandonado em 1972, por provavelmente altos custos de implementação.
1970	Fanger	Modelo de conforto térmico determinando o índice de PMV, considerando seis parâmetros dos ambientes internos, junto com o ocupante.
1971	Stolwijk	Modelo matemático dinâmico que define características térmicas dos ocupantes com base em 25 nós.
1986	Gagge et al.	Este modelo é baseado no fato que os ocupantes são passivamente influenciados pelas condições do ambiente interno.
1992	ASHRAE-55	Estabelecimento da definição de conforto térmico pela primeira vez.
1995	Tanabe et al.	Desenvolvimento de um modelo numérico de conforto térmico representando a sensação de conforto dos ocupantes, baseado em 16 nós do corpo humano.
1998	Fiala	Atualização do modelo de Fanger, determinando o índice DTS, focando na mudança dinâmica do calor emitido pelos corpos humanos.
2001	Berkeley Comfort Model (BCM)	Atualização do modelo de Stolwijk e Tanabe, com uma simulação teórica de várias áreas do corpo humano.
2002	Brager e de Dear	Desenvolvimento de um modelo de conforto adaptativo (ACS), onde uma faixa aceitável de condições ambientais internas é determinada para o conforto dos ocupantes.
2002	Nicol e Humphreys	Pesquisaram o conforto térmico adaptativo e sugerem que as pessoas tendem a adaptar-se ao ambiente térmico. E que a faixa aceitável de condições de temperatura fosse de $\pm 2^{\circ}\text{C}$
2007	Santamouris et al.	Implementação de materiais integrados de construção de modo a melhorar as condições dos ambientes internos.
2010	Zhang et al.	Modelo de simulação dinâmica, focado em áreas específicas do corpo humano. Determinando o nível de conforto em uma escala de 9 pontos: de -4(muito frio) a +4(muito quente).
2011	Kingma	Desenvolvimento do modelo ThermoSEM, um modelo matemático enfatizando a neurofisiologia dos ocupantes.

FONTE: ANTONIADOU e PAPADOPOULOS (2017), tradução livre do autor.

Segundo Antoniadou e Papadopoulos (2017) a maioria dos pesquisadores deu ênfase em abordagens em duas fases, coletando dados quantitativos e qualitativos para realizar sua análise. As análises foram realizadas por meio de abordagens estatísticas clássicas e, em alguns casos, por meio do desenvolvimento de modelos matemáticos. Os modelos existentes enfocam a relação dos parâmetros termo físicos para a determinação do conforto.

Mesmo com o esforço no desenvolvimento de estudos e modelos, e de resultados interessantes produzidos, a definição de um modelo mais personalizado de conforto térmico ainda está para ser delineado. A interpretação e avaliação de parâmetros relativos às questões socioeconômicas, psicológicas e características físicas dos indivíduos são aspectos que podem afetar a determinação do conforto, necessitando de uma análise mais aprofundada (ANTONIADOU e PAPADOPOULOS, 2017).

Antoniadou e Papadopoulos (2017) afirmam que resultados enfocam a determinação dos fatores de risco e sua relação com o conforto percebido. A identificação destes aspectos é de grande interesse, uma vez que são os que irão conduzir ao desenvolvimento de modelos de conforto mais personalizados, que irão eventualmente apoiar tanto normativas e projetistas no estabelecimento de uma metodologia integrada de avaliação do conforto já no projeto das edificações.

2.1.2 *Modelo estático de conforto*

Na década de 1960, Fanger iniciou estudos sobre conforto térmico. Tendo publicado seu primeiro artigo em 1967, sob o título de ‘Cálculo do conforto térmico: introdução de uma equação de conforto básico’. Fanger criticou o enfoque americano dado ao conforto térmico, considerando apenas um nível de taxa metabólica, um tipo de vestimenta, temperatura do ar igual à temperatura radiante, e o movimento do ar (ALFANO et al., 2017).

Alfano *et al.* (2017) afirmam que alternativamente a esse enfoque, Fanger propôs um método baseado em pesquisas elaboradas a partir de uma grande amostragem de jovens adultos. A principal conclusão deste estudo foi que a sensação de conforto poderia estar relacionada à temperatura média da pele e à perda de calor por evaporação (ambas relacionadas à taxa metabólica). Esse novo método, denominado ‘equação de conforto’ ou ‘equação de Fanger’, baseou-se no equilíbrio de calor do corpo humano sob certas condições do entorno. O autor também relatou linhas de conforto, que definem as condições de conforto quando os parâmetros

ambientais (temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade e umidade do ar) e parâmetros pessoais (taxa metabólica e isolamento da roupa) são alterados.

No livro *‘Thermal Comfort’*, lançado em 1970, Fanger apresenta os resultados dos estudos conduzidos em câmaras climáticas nos laboratórios da *Danmarks Tekniske Universitet* e da *Kansas State University*. O conceito mais importante introduzido e explicado neste livro é o do PMV (*Predicted Mean Vote*, ou voto médio estimado), como um índice geral de conforto, e o PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied* ou porcentagem estimada de insatisfeitos), definindo os principais parâmetros que influenciam as sensações de desconforto térmico. O PMV objetiva estimar a sensação térmica média de um grupo de pessoas e a porcentagem estimada de insatisfeitos (PPD) com o ambiente térmico (ALFANO et al., 2017).

O PMV é um índice expresso por uma escala de sensações representada a seguir:

+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Levemente quente
0	Neutro
-1	Levemente frio
-2	Frio
-3	Muito frio

Fanger definiu como aceitáveis as variações do PMV entre -1,0 e +1,0. Entretanto, a ASHRAE 55 admite uma faixa de variação mais restrita, entre -0,5 e +0,5. Uma faixa de variação térmica mais restritiva afeta consideravelmente o consumo de energia em sistemas de ar-condicionado, além de não ser uma garantia de melhor performance térmica (GHISI, RUPP, 2019).

2.1.3 Abordagem adaptativa

Com o aumento do uso da equação de Fanger, muitas críticas começaram a surgir, principalmente em respeito a quatro aspectos:

- Resistência apresentada pelas vestimentas do usuário;
- Taxa metabólica e atividade do usuário;
- Caráter dinâmico das condições térmicas;

- Características psicológicas que podem afetar a noção de conforto, como habilidade de adaptação e aclimação.

Humphreys e Nicol, baseando-se em estudos de campos, avaliaram a validade das teorias de conforto. Apresentaram a conclusão de que a faixa de temperaturas de conforto em edificações naturalmente ventiladas é mais ampla do que os modelos previstos com as aplicações do PMV-PPD (principalmente no verão). Eles sustentam que existem discrepâncias entre os dados levantados em estudos de campo e as previsões de conforto baseadas no modelo de balanço térmico (VAN DEN DOBBELSTEEN et al., 2013)

Para De Dear e Brager (2002) a aclimação fisiológica é uma característica dos indivíduos, que tem a capacidade de se adaptarem ao ambiente climático no qual estão inseridos.

Esta capacidade se relaciona com a termo regulação fisiológica do organismo, que por sua vez favorece a permanência do ser humano em condições diferenciadas de temperatura, sem que o mesmo apresente desconforto térmico. Indivíduos que exercem um maior controle sobre o ambiente térmico tendem a tolerar faixas mais amplas para as temperaturas internas, o que ocasiona a ampliação da zona de conforto térmico (NICOL; HUMPHREYS, 2002).

De Dear, Brager e Cooper (1997) estabelecem três categorias distintas de adaptações climáticas. A primeira listada é a adaptação comportamental, entendida como toda alteração que o usuário faz consciente ou inconsciente com o intuito de alterar fluxo de calor e massa no balanço térmico corporal. Consideram-se desde ações pessoais (vestuário, atividade, beber, troca de posição no ambiente), ações ambientais (abertura ou fechamento de janelas e cortinas, acionamento de equipamentos de ar condicionado ou ventiladores) e até ações de adaptação cultural.

As adaptações fisiológicas são resultantes da exposição a fatores térmicos ambientais e os autores elencam duas subcategorias: adaptação genética e aclimação (termo regulação fisiológica ocasionada por estresse térmico). Por fim conceituam a adaptação psicológica, como relacionada a alterações da percepção e reação sensoriais (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997).

Baruch Givoni foi outro pesquisador a propor estudos alternativos ao modelo de Fanger. Sua *Carta bioclimática* é uma ferramenta desenvolvida tomando como partida a descrição dos

mecanismos de troca térmica entre corpo humano e meio físico, considerando as tensões térmicas metabólica e ambiental. Givoni desenvolveu o Índice de Stress Térmico (ITS). Com base nesse índice, a *Carta bioclimática* do edifício é uma representação da zona de conforto térmico e do efeito de estratégias de controle ambiental, tais como a massa térmica da edificação, ventos, resfriamento por evaporação, umidificação, tendo todos estes fatores representados sobre uma carta psicrométrica. Na carta bioclimática, ele apresenta recomendações projetuais para edificações, baseados em estudos elaborados nos EUA, Europa e Israel. Posteriormente propôs adaptações na carta bioclimática a fim de contemplar especificidades de países de clima quente. A NBR 15.220 (ABNT, 2005), norma sobre desempenho térmico, é baseada na carta bioclimática adaptada (SILVA, 2018).

Os padrões de conforto térmico incluem definições para os requisitos para condições térmicas internas em edifícios. Pesquisas geralmente relatam lacunas entre essas condições térmicas internas padronizadas e as condições reais desejadas. Em consequência disso, surgem questões sobre a validade e completude das variáveis utilizadas nos modelos de conforto térmico implementados (SCHWEIKER et al., 2020).

Um aspecto da adaptação psicológica mencionado na literatura é a expectativa das pessoas em relação às condições térmicas internas.

Fountain, Brager e de Dear (*apud* Schweiker et al., 2020) afirmam que depois que as pessoas são expostas a variações no clima interno, todas percebidas como confortáveis, suas expectativas em relação a essas condições podem se tornar mais relaxadas. Atender às expectativas dos ocupantes pode ajudar a melhorar as estratégias de controle interno para construções mais saudáveis, confortáveis e eficientes.

No início da década de 1980, Auliciems elaborou um "modelo psicofisiológico", no qual as expectativas térmicas de um determinado ambiente afetam a satisfação térmica dos ocupantes com o espaço interno. Essas expectativas se formam por experiências térmicas passadas juntamente com adaptações comportamentais, tecnológicas e culturais. Nessa mesma linha de pensamento, Humphreys e Nicol relacionam votos de sensação térmica com "expectativas progressas". A correlação encontrada entre as temperaturas de conforto e a temperatura externa média pode indicar que as expectativas de conforto dos ocupantes são moldadas por experiências térmicas recentes, também chamadas de "memória térmica" (SCHWEIKER et al., 2020).

Para Schweiker et al. (2020), os resultados indicam que os votos de sensação térmica não estão vinculados a tipos de ventilação específicos, mas são influenciados pelas expectativas dos ocupantes do espaço. As expectativas térmicas não são apenas formadas por exposições contínuas às condições climáticas e características do edifício, mas podem ser moldadas pelas oportunidades de adaptação de um edifício. Nesse sentido, as expectativas têm maior influência na percepção de conforto quando o ambiente interno é controlado pelo sujeito do que quando os usuários são passivos. No ambiente construído podem se distinguir as expectativas "ideais", ou seja, como os habitantes desejam que seja a performance térmica do edifício e expectativas "normativas", ou seja, como eles acham que o edifício deve funcionar.

2.1.4 Modelos de conforto térmico e normativas vigentes

Ter uma informação preliminar da percepção térmica média dos usuários dos ambientes construídos nos permite orientar corretamente novas edificações bem como possibilitar avaliações térmicas desses ambientes. Podemos considerar esta informação na forma de modelos de conforto térmico, auxiliando os projetistas quanto a estratégias projetuais adequando as condições ambientais dessa edificação.

Os modelos de conforto térmico mais conhecidos e utilizados são:

a) Modelos estáticos (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO, 2005*), baseados na padrão de usuário e sem levar em conta as variações nas preferências térmicas resultantes da aclimatação;

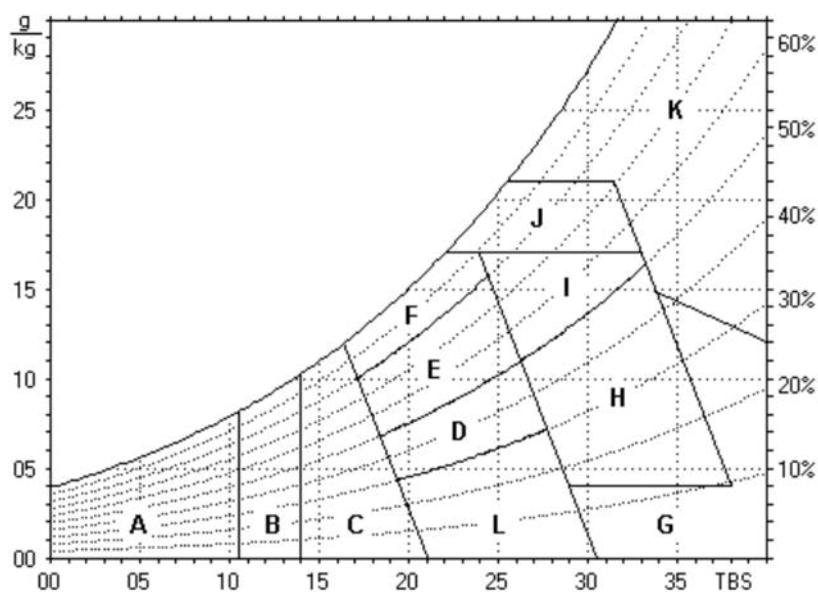
b) Modelos aplicados na arquitetura bioclimática, com uma (*ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2005*) ou duas faixas de conforto (uma para verão e outra para inverno).

c) Modelos adaptativos, que estabelecem temperaturas neutras e faixas de conforto em função das médias das temperaturas externas do ar experimentadas pelos usuários em seu passado recente; (*DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997*).

No Brasil, uma adaptação (*FIGURA 5*) do modelo de conforto proposto por Givoni (*GIVONI, 1992*) foi adotada como referência para duas normas técnicas (*ABNT, 2005* e *ABNT, 2013*). No entanto, este modelo não considera o fator aclimatação, levando a contestações sobre

sua adequação como análise do clima local (SANTO; ALVAREZ; NICO-RODRIGUES, 2013).

FIGURA 5 - CARTA BIOCLIMÁTICA ADAPTADA

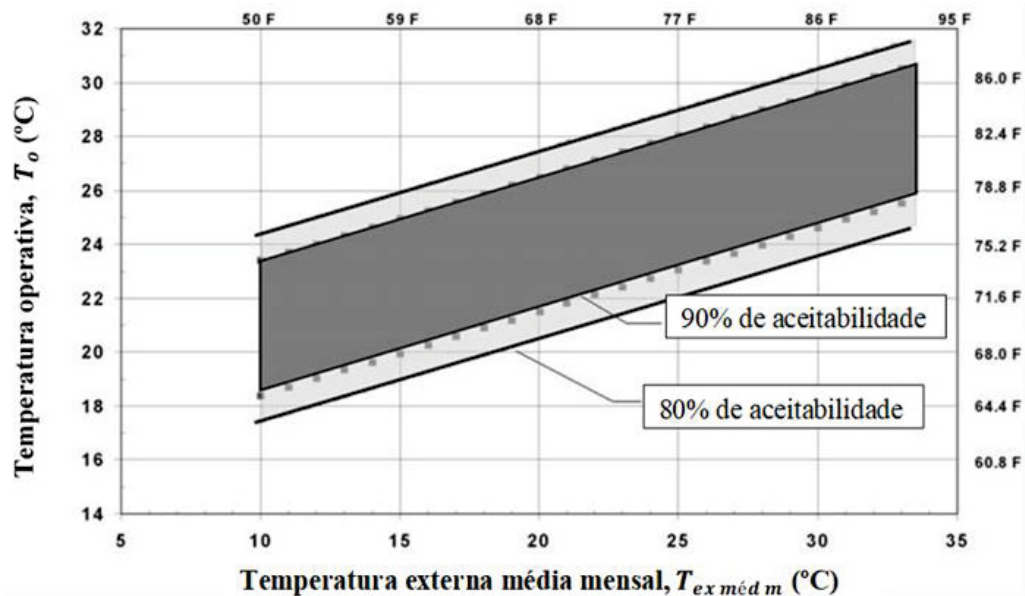


FORNTE: ABNT (2005).

LEGENDA: A - Sistema artificial de aquecimento, B - Aquecimento solar da edificação, C - Massa térmica para aquecimento, D - Conforto térmico (baixa umidade), E - Conforto térmico, F - Desumidificação (renovação do ar), G + H - Resfriamento evaporativo, H + I - Massa térmica de refrigeração, I + J - Ventilação, K - Sistema artificial de refrigeração, L - Umidificação do ar.

No Brasil os modelos adaptativos mais utilizados são o modelo americano (ASHRAE, 2020) e o modelo europeu (*EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - CEN*, 2007). No modelo americano (FIGURA 6), adota-se uma temperatura operativa neutra e são definidas duas faixas de aceitabilidade térmica: com 5 °C de largura, para 90 % da população; e com 7 °C de largura, para 80 % da população (ASHRAE, 2020).

FIGURA 6 - FAIXAS DE TEMPERATURAS OPERATIVAS ACEITÁVEIS PARA ESPAÇOS CONDICIONADOS NATURALMENTE



FONTE: Adaptado de ASHRAE (2020).

2.2 ESTADO DA ARTE

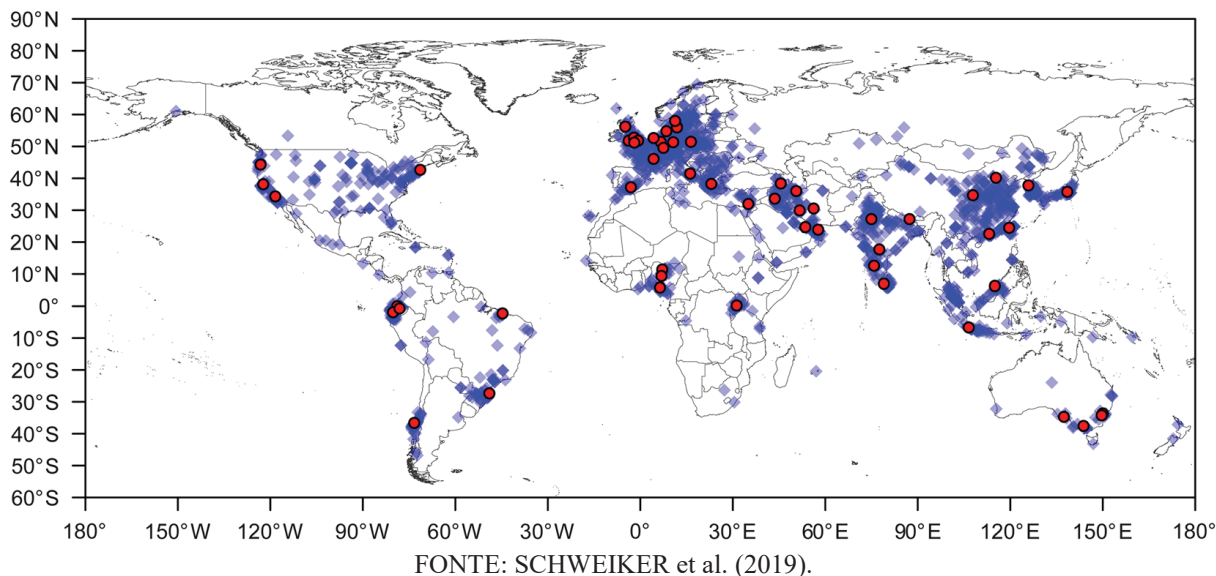
2.2.1 Pesquisas de percepção térmica realizadas no exterior

Os ocupantes dos edifícios interferem significativamente no ambiente interno e no uso da energia por meio da presença e interações com o edifício e seus sistemas de controle. A percepção do conforto térmico de um ambiente é um fator importante para as ações de ajustes de temperatura (SCHWEIKER et al., 2019). “Se ocorrer uma mudança que produz desconforto, as pessoas tendem a agir para restaurar seu conforto”(NICOL, HUMPHREYS, 2002).

O entendimento do que é o conforto térmico é fundamental para orientar decisões de projeto apropriadas, bem como a escolha de sistemas adequados em edifícios.

Schweiker et al. (2019) conduziram uma pesquisa internacional denominada *The Scales Project*, com o objetivo de investigar conceitos dos respondentes em relação à sensação térmica, conforto térmico e escalas de tolerância térmicas. Também objetiva revisar hipóteses existentes relativas à interpretação dessas respostas. O conjunto de dados levantados nesta pesquisa internacional de larga escala, conseguidos com a aplicação de um questionário único. O questionário foi aplicado em 21 línguas distintas (FIGURA 7). Foram aplicados em 57 cidades de 30 países, resultando em um conjunto de dados que abrange respostas de 8.225 participantes.

FIGURA 7 – THE SCALES PROJECT - APLICAÇÕES E PARTICIPANTES



LEGENDA: ponto vermelho: locais de aplicação dos questionários; losango azul: origem dos participantes (8225 respondentes)

O conjunto de dados levantados pode ser usado para analisar as relações conceituais entre os termos de uma escala ou entre uma ou mais escalas. Por exemplo, a sensação térmica é avaliada com mais frequência usando a escala de sensação térmica da ASHRAE, com termos “frio”, “fresco”, “pouco fresco”, “neutro”, “pouco morno”, “morno” e “quente”. Uma suposição comum relacionada à aplicação da escala de sensação térmica é a suposição de equidistância, significando que a diferença entre “morno” e “quente” é igual à diferença entre “morno” e “pouco morno”. Outra hipótese sobre conforto térmico a ser revisada pelos dados coletados, afirma que os ocupantes se satisfariam com as condições térmicas dos ambientes, se escolhessem um dos três termos centrais da escala de sensação térmica ASHRAE (“levemente fresco”, “neutro” ou “levemente morno”). Em outras palavras, a “neutralidade” é tida como uma condição desejada. Vários estudos mostraram que as diferenças individuais e de contexto contradizem esta hipótese, mostrando discrepância entre os usuários que declaram estar satisfeitos com o ambiente térmico quando sentindo o mesmo fresco ou morno (SCHWEIKER *et al.*, 2019).

Outra pesquisa publicada recentemente foi a conduzida por Atmaca e Gedik (2020), na qual aplicaram o método de *survey* para caracterizar parâmetros de conforto em duas mesquitas na província de Istambul, na Turquia, de clima temperado úmido. Paralelamente foram efetuados levantamentos de dados ambientais. O principal questionamento que norteou os

autores foi validar o quão apropriado é utilizar as mesmas faixas de conforto aceitáveis para diferentes tipos de edificações e condições climáticas. O objetivo da pesquisa foi comparar as condições de conforto térmico interno medidas em mesquitas de acordo com os padrões, caracterizar a percepção de conforto térmico dos usuários, e por fim comparar a diferença entre os níveis de conforto térmico medido e percebido. Concluem que as condições internas estavam dentro dos limites aceitáveis de acordo com os resultados medidos, enquanto os resultados da *survey* sobre a sensação térmica dos usuários apontaram que o ambiente estava mais quente (ATMACA, GEDIK, 2020).

Liu et al. (2020), elaboraram *survey* comparativa dos períodos de outono e inverno em edifícios educacionais na cidade de Tianjin, na China. No outono os ambientes avaliados foram naturalmente ventilados e durante o inverno utilizou-se o condicionamento mecânico de ar. Os objetivos do estudo foram analisar as diferenças dos fatores sazonais entre diferentes estações do ano; e propor um método para selecionar os coeficientes adaptativos para estações do ano em edifícios de modo misto.

Para os autores o desafio de manter o conforto térmico de uma edificação no ano todo, por causa da grande variação das condições climáticas das estações. O estudo desenvolvido permitiu entender a influência das características das estações no conforto dentro das salas de aulas. (LIU et al. 2020).

Lenzholzer e Nikolopoulou (2020) enfatizam que nos últimos 10 anos surgiram inúmeras pesquisas sobre a intersecção de conforto térmico e psicologia ambiental. E que essa nova abordagem em parâmetros humanos mais subjetivos trouxe também um novo paradigma, enfatizando a importância de fatores pessoais, comportamentais e psicológicos da percepção térmica.

Em outro aspecto, a psicologia ambiental avançou significativamente nos últimos anos e forneceu novas formas de coleta de dados sobre a experiência das pessoas em seu ambiente. Também podemos enfatizar o fato de que o rápido desenvolvimento das mídias sociais e a internet das coisas ajudaram a fornecer novas abordagens para a coleta de dados, colaborando para novas abordagens metodológicas (LENZHOLZER e NIKOLOPOULOU, 2020).

2.2.2 *Pesquisas de percepção térmica realizadas no Brasil*

Em consulta bibliográfica a bases científicas e repositórios de teses e dissertações de instituições nacionais, constata-se que no Brasil várias pesquisas sobre a percepção térmica de usuários no ambiente construído versam sobre tipologias não residenciais.

As pesquisas foram majoritariamente realizadas sobre edifícios educacionais (XAVIER, 1999; GRZYBOWSKI, 2004; LAZZAROTTO, 2007; FONTANELLA, 2009; CHAVES, 2016; NUNES, 2019). Enquanto que os edifícios de escritórios foram objeto de estudos de pesquisas mais recentes (NOGUEIRA, 2018; SANTOS, 2018; RUPP, 2018).

Especificamente em edificações residenciais são poucas as pesquisas desenvolvidas no Brasil. Mesmo as existentes em sua maioria foram realizadas de modo a dar suporte a outras análises complementares do desempenho das edificações. Observa-se o baixo número de respondentes nas pesquisas.

Pereira (2019) empreendeu pesquisa de satisfação dos usuários de uma residência universitária, associada com simulação de desempenho térmico da edificação. Por se tratar de um público específico a amostragem de respondentes é bastante reduzida, totalizando 38 respondentes.

Outra pesquisa que aplicou questionários sobre o conforto térmico foi a conduzida por Linck (2013), onde associa esses dados com o desempenho térmico de edificações de habitação social na cidade de Santa Maria, RS. Esta pesquisa contou com a resposta de 17 participantes.

Freire dos Santos (2022) realizou pesquisa sobre conforto térmico no interior de quatro residências na favela Jardim Colombo, na cidade de São Paulo em períodos distintos das quatro estações do ano. A autora se utilizou de parte dos métodos que esta pesquisa realizou, com registros de variáveis ambientais internas através de *dataloggers*, dados de estação meteorológica, porém sem a aplicação de questionários sobre a percepção dos usuários.

Perillo et al. (2017) apresentam uma análise das principais publicações sobre conforto térmico em salas de aula por periódicos indexados, com o objetivo de auxiliar pesquisadores e profissionais da área. Identificaram, usando mapeamento e revisão sistemáticos, quais os métodos utilizados pelos pesquisadores, estratégias de climatização dos ambientes estudados e os índices por eles levantados.

Classificam os estudos em dois tipos de abordagens: o Modelo Racional de Conforto Térmico (*Rational Thermal Comfort – RTC*) (FANGER, 1970) e o Modelo Adaptativo de Conforto Térmico (*Adaptive Thermal Comfort – ATC*) (NICOL, 1995). Também demonstram que esses modelos foram regulamentados pela normativa 55 da ASHRAE (ASHRAE, 2013).

No Brasil são utilizadas as normas NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 partes 4 e 5 (ABNT, 2013) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações, PBE - Edifica (INMETRO, 2013).

Os autores salientam que, apesar dos avanços atingidos pela utilização dessas normativas e regulamentos, é importante a realização de pesquisas para a definição de um método de avaliação de conforto térmico mais adequado ao clima do país (PERILLO et al., 2017).

Para Rupp (2018) a escassez de estudos sobre a percepção térmica dos usuários no Brasil, é devido aos custos de aquisição e manutenção dos equipamentos de monitoramento ambiental, bem como as dificuldades burocráticas na aprovação de estudos de campo em edificações. Seu trabalho colabora na compreensão dos variados aspectos (comportamentais, fisiológicos, psicológicos, por exemplo) que influenciam na percepção de conforto térmico.

Para Antoniadou e Papadopoulou (2017) os modelos existentes se concentram somente em parâmetros termo físicos para a determinação do conforto, e apontam a necessidade de criar um modelo mais personalizado de conforto, proporcionando um ambiente interno confortável para os usuários. Para os autores a o desenvolvimento desses novos modelos de conforto apoiarão os projetistas a estabelecer uma metodologia integrada para a avaliação do conforto já na fase de projeto de edifícios com elevado desempenho energético.

Ghisi e Rupp (2019) afirmam a necessária elaboração de novos estudos de campo no Brasil, de modo a contemplar os diversos tipos de clima do país. Estudos que devem também se estender a uma maior variedade de tipologias construtivas e com populações específicas (jovens, idosos, etc.). E dessa forma se registrarem dados necessários para revisões nas normativas vigentes, e subsidiar proposição de modelos específicos para o cenário nacional.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 MODELO ADAPTATIVO DE PERCEPÇÃO TÉRMICA

No modelo adaptativo de percepção térmica, considera-se como parâmetro a temperatura operativa. Para ambientes sem componentes sobreaquecidos e sem exposição direta à radiação solar, a temperatura operativa pode ser tomada como a média aritmética entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média (EQUAÇÃO 1).

EQUAÇÃO 1 - TEMPERATURA OPERATIVA.

$$T_o = \frac{T_a + T_{rm}}{2}$$

FONTE: ASHRAE (2021).

Na qual,

To Temperatura operativa (°C).

Ta Temperatura do ar (°C).

Trm Temperatura radiante média (°C).

A temperatura radiante média é medida diretamente no ambiente. Já a Trm é calculada. Para seu cálculo, considera-se a temperatura de globo (Tg).

A ISO 7726 (1998) apresenta procedimentos para o cálculo da Trm utilizando Tg em diferentes situações: sob convecção natural (sem e com termômetro de globo padrão) e sob convecção forçada (sem e com termômetro de globo padrão).

Convecção natural e termômetro de globo com diâmetro diferente do padrão.

EQUAÇÃO 2 – TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA.

$$T_{rm} = \left[(T_g + 273)^4 + \frac{0,25 \times 10^8}{\varepsilon_g} \times \left(\frac{|T_g - T_a|}{D} \right)^{1/4} \times (T_g - T_a) \right]^{1/4} - 273$$

FONTE: ISO 7726

Convecção natural e termômetro de globo com diâmetro padrão (150 mm).

EQUAÇÃO 3 – TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA.

$$T_{rm} = \left[(T_g + 273)^4 + 0,4 \times 10^8 |T_g - T_a|^{1/4} \times (T_g - T_a) \right]^{1/4} - 273$$

FONTE: ISO 7726

Nas quais,

T_g Temperatura de globo (°C).

Nesta pesquisa foi utilizada a EQUAÇÃO 2, pois o termômetro utilizado diferiu do padrão de 150 mm.

A temperatura operativa é a temperatura uniforme de um ambiente negro imaginário no qual o ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme (ASHRAE 55, 2020).

A temperatura operativa neutra (T_o neutra) é calculada pela EQUAÇÃO 4.

EQUAÇÃO 4 – TEMPERATURA OPERATIVA NEUTRA.

$$T_{o\text{ neutra}} = 0,31T_{ex\text{ méd } m} + 17,8$$

FONTE: Nicol e Humphreys (2010, p. 16)

3.2 MODELO DE FANGER

O modelo de Fanger (ASHRAE 55, 2021) visa estimar a percepção térmica dos usuários. Para isso, utiliza o índice PMV (*Predicted Mean Vote*).

Segundo a ASHRAE (2021) o PMV é um índice de demonstra o valor médio dos votos de um grupo de pessoas, sob uma escala 7 pontos de sensação térmica, já elencados anteriormente. Diz-se que o equilíbrio térmico se dá quando a produção interna de calor no corpo é igual à perda de calor para o ambiente.

Para o cálculo do PMV em um ambiente interno são necessários os valores das seguintes variáveis:

- a) Temperatura do ar.
- b) Temperatura radiante média.
- c) Umidade relativa do ar.
- d) Velocidade do ar.
- e) Isolamento térmico da vestimenta.
- f) Taxa metabólica do indivíduo

O modelo desenvolvido por Fanger (1972) é a base para a norma ISO 7730.

Em seus estudos o autor também elaborou uma previsão para a proporção de um dado grupo de pessoas que ficariam considerariam o ambiente insatisfatório.

Dessa forma a Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD – *Predicted Percentage of Dissatisfied*) é definida em termos do PMV. (Fanger, 1972).

3.3 ESTIMATIVA DE VALORES DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS DO AMBIENTE INTERNO EM FUNÇÃO DOS VALORES NO AMBIENTE EXTERNO

Nesta subseção são apresentados os fundamentos para a estimativa de valores de variáveis ambientais do ambiente interno em função dos valores no ambiente externo a fim de que possa ser testada a hipótese secundária desta pesquisa.

3.3.1 *Pressão de ar seco (Pas) do ambiente externo*

Será a mesma dentro e fora, e varia em função da altitude.

Segundo a ASHRAE (2020), a EQUAÇÃO 5 é válida para altitudes entre -5.000 m e 11.000 m.

EQUAÇÃO 5 – PRESSÃO DE AR SECO.

$$P_{asc} = 101,325 \times (1 - 2,25577 \times 10^{-5} \times H)^{5,2559}$$

FONTE: ASHRAE (2021).

Na qual,

H altitude (m)

Pasc pressão de ar seco (kPa)

3.3.2 Pressão de vapor saturado (P_{vs}) do ambiente externo

Trata-se da parcela da pressão atmosférica devida ao vapor quando o ar se encontra completamente saturado por este.

Para $-100\text{ °C} > T_{bs} \leq 0\text{ °C}$, utilizar a EQUAÇÃO 6 (ASHRAE, 2021).

EQUAÇÃO 6 – PRESSÃO DE VAPOR SATURADO

$$\text{Ln}P_{vst} = \frac{C_1}{T_{bs}} + C_2 + C_3 \times T_{bs} + C_4 \times T_{bs}^2 + C_5 \times T_{bs}^3 + C_6 \times T_{bs}^4 + C_7 \times \text{Ln}T_{bs}$$

FONTE: ASHRAE (2021).

Para $0\text{ °C} > T_{bs} < 200\text{ °C}$, utilizar a EQUAÇÃO 7.

EQUAÇÃO 7 – PRESSÃO DE VAPOR SATURADO.

$$\text{Ln}P_{vst} = \frac{C_8}{T_{bs}} + C_9 + C_{10} \times T_{bs} + C_{11} \times T_{bs}^2 + C_{12} \times T_{bs}^3 + C_{13} \times \text{Ln}T_{bs}$$

FONTE: ASHRAE (2021).

Nas quais, a T_{bs} deve estar em K e os valores para C são constantes:

$$C1 = -5,6745359 \text{ E}+03$$

$$C2 = 6,3925247 \text{ E}+00$$

$$C3 = -9,677843 \text{ E}-03$$

$$C4 = 6,2215701 \text{ E}-07$$

$$C5 = 2,0747825 \text{ E}-09$$

$$C6 = -9,4840240 \text{ E}-13$$

$$C7 = 4,1635019 \text{ E}+00$$

$$C8 = -5,8002206 \text{ E}+03$$

$$C9 = 1,3914993 \text{ E}+00$$

$$C10 = -4,8640239 \text{ E}-02$$

$$C11 = 4,1764768 \text{ E}-05$$

$$C12 = -1,4452093 \text{ E}-08$$

$$C13 = 6,5459673 \text{ E}+00$$

Ln = logaritmo natural.

Tbs = temperatura de bulbo seco absoluta (K = °C + 273,15)

Pvs = pressão de vapor saturado (Pa).

FONTE: ASHRAE (2021).

Observa-se que a pressão de vapor saturado (Pvs) apresenta uma relação não linear com a temperatura de bulbo seco.

Para conferência do resultado obtido, pode ser utilizada a equação de Antoine.

3.3.2.1 Equação de Antoine

Uma boa aproximação para o cálculo da pressão de vapor saturado é possível utilizando a Equação de Antoine, EQUAÇÃO 8, na qual o valor 0,133322 é o fator de conversão para quilo Pascal (kPa).

EQUAÇÃO 8 – PRESSÃO DE VAPOR SATURADO (ANTOINE).

$$P_{vst} = 0,133322 \times EXP\left(A - \frac{B}{C + 273,15 + T_{bs}}\right)$$

Na qual, A, B e C são as constantes de Antoine:

$$A \quad 18,3036$$

$$B \quad 3016,44$$

C -46,13

Para a pressão em mmHg, a Equação de Antoine é válida para a faixa de temperaturas de 284 K até 441 K. Ou seja, na escala Celsius, de 10,85 °C até 167,85 °C. Observa-se que, se utilizada a Equação de Antoine para o cálculo da pressão de vapor saturado em mmHg, será necessário converter esse valor para kPa.

3.3.3 Pressão atual de vapor (P_v) do ambiente externo

Pressão devida exclusivamente ao vapor d'água, sem que seja necessário que o ar esteja saturado. Ou seja, é a pressão devida exclusivamente ao vapor d'água em determinado instante, sem que haja necessidade de saturação. Por isso, seu valor é menor do que o valor da pressão quando o ar se encontra saturado de vapor d'água.

3.3.3.1 Estimativa utilizando a umidade relativa (UR)

Considerando que a relação entre as pressões (kPa) de vapor (pressão de vapor saturado e pressão atual de vapor) apresentam a mesma relação proporcional que as umidades absolutas (g/kg), é possível calcular a pressão atual de vapor utilizando a EQUAÇÃO 9.

EQUAÇÃO 9 – PRESSÃO ATUAL DE VAPOR.

$$P_v = UR \times P_{vst}$$

3.3.4 Pressão atmosférica nos ambientes externo e interno (P_{atm})

Uma edificação naturalmente ventilada, por definição, não é hermeticamente fechada. O ambiente interno se comunica com o externo pelas aberturas.

Em se tratando da pressão atmosférica, caso ocorram diferenças de pressão entre os ambientes interno e externo, ela será momentânea, pois o ar fluirá do ambiente com maior pressão para o ambiente de menor pressão até que as pressões sejam equalizadas. Pode-se dizer então que, para uma mesma altura, a pressão atmosférica é a mesma no interior e no exterior de uma edificação¹.

¹ Teorema de Stevin.

A pressão atmosférica pode ser entendida como a força (em Newtons, N) exercida pela coluna de ar por metro quadrado (m²) em dada altitude.

Devido ao fato de os gases que compõem o ar seco (as) não se condensam em condições próximas às do condensamento do vapor d'água, mesmo o ar seco sendo formado pela soma de diversos gases, ele é tratado como um gás único, homogêneo. Por sua vez, o vapor de água é tratado como outro gás. Ou seja, a mistura ar seco + vapor é tratada como uma mistura binária.

No modelo de Dalton, válido para pressões de até 3 atm, cada um dos componentes da mistura que compõem a atmosfera em baixas altitudes (ar seco + vapor d'água) se comporta como se estivesse sozinho. Assim, o valor da pressão atmosférica, válido tanto para o ambiente externo quanto para o interno, pode ser obtido utilizando a EQUAÇÃO 10.

EQUAÇÃO 10 – PRESSÃO ATMOSFÉRICA.

$$P_{atm} = P_{asc} + P_v$$

Alternativamente, A pressão atmosférica também pode ser calculada pela EQUAÇÃO 11:

EQUAÇÃO 11 – PRESSÃO ATMOSFÉRICA.

$$P_{atm} = 101,325 \times P_v^{(-0,0001184 \times H)}$$

Fonte: (DANTAS; CARVALHO; NETO, [s.d.]).

Na qual

H Altitude (m).

3.3.5 Umidade absoluta (*w*)

De maneira semelhante com o que ocorre com a pressão atmosférica, a umidade absoluta (em kg de vapor d'água / kg de ar seco) será (a princípio) a mesma no interior e no exterior de uma edificação sempre que estes ambientes estiverem em comunicação e não houver fontes interna de umidade significativas. Este é caso de ambientes de permanência prolongada e

naturalmente ventilados, como salas de estar, escritórios e quartos de dormir. Obviamente, banheiros com chuveiros acionados e cozinhas com fogões operando serão fontes de distorção.

Quando o objetivo é calcular a umidade em kg de vapor / kg de ar seco, pode ser utilizada a EQUAÇÃO 12.

EQUAÇÃO 12 – UMIDADE EM KG DE VAPOR/KG DE AR SECO.

$$w = \frac{18,016 P_v}{28,966 P_{as}}$$

FONTE: CAMARGO, 2003

Quando o objetivo é calcular a umidade em g de vapor / kg de ar seco, pode ser utilizada a EQUAÇÃO 13.

EQUAÇÃO 13 – UMIDADE EM G DE VAPOR/KG DE AR SECO.

$$w = \left(\frac{18,016 P_v}{28,966 P_{as}} \right) \times 1000$$

FONTE: CAMARGO, 2003

3.3.6 Umidade relativa (UR)

Em se tratando da umidade relativa, UR (em %), a princípio, diferentemente do que ocorre com a umidade absoluta (em g/kg) e com a pressão atmosférica (em kPa), os valores serão diferentes do interior para o exterior da edificação sempre que as temperaturas forem diferentes em função do fato de que quanto mais alta a temperatura do ar, maior será sua capacidade deste de reter umidade. Ou seja, para um mesmo teor de umidade absoluta (em g/kg), ambientes internos com temperaturas mais altas apresentarão valores mais baixos para a UR do que ambientes externos.

A seguir, descreve-se uma maneira para se estimar a UR do ambiente interno. Deve-se ter em mão os seguintes dados do ambiente externo: a) altitude; b) temperatura do ar; c) umidade relativa (UR).

O primeiro passo é calcular a pressão de ar seco (P_{as}), utilizando a EQUAÇÃO 5. Para isso é necessário conhecer a altitude (em metros) da localidade. O segundo passo é calcular a pressão de vapor saturado do ambiente externo (P_{vs}), utilizando a EQUAÇÃO 6 ou a EQUAÇÃO 7, a depender da temperatura do ambiente externo. Para isso é necessário também conhecer a temperatura do ar do ambiente externo. Na sequência, calcula-se a pressão atual de vapor (P_v) do ambiente externo (EQUAÇÃO 9). Caso seja de interesse conhecer a pressão atmosférica (EQUAÇÃO 10), basta somar a P_v com a P_{as} . Para conhecer a umidade absoluta (w , em g/kg) do ambiente externo, conhecendo-se a P_v e a P_{as} , aplica-se a EQUAÇÃO 13.

Para dar sequência ao cálculo da UR no ambiente interno é necessário ter em mãos o valor da temperatura do ar nesse ambiente. O valor para a umidade absoluta (w) calculado anteriormente é validado tanto para o ambiente externo quanto para o interno (desde que o ambiente interno não possua fontes extras de umidade). A P_{as} também é a mesma para os dois ambientes. O próximo passo é calcular o valor da P_{vs} (EQUAÇÃO 6 ou EQUAÇÃO 7), alterada em função da modificação da temperatura do ar. Para calcular a P_v no ambiente interno, pode-se reescrever a EQUAÇÃO 13 sob a forma da EQUAÇÃO 14.

EQUAÇÃO 14 – PRESSÃO ATUAL DE VAPOR.

$$P_v = \frac{\left(\frac{\omega}{1000}\right) \times 28,966 \times P_{as}}{18,016}$$

Finalmente, tendo em mãos a P_{vs} e a P_v calculadas para o ambiente interno, calcula-se a UR para esse ambiente com uma forma reescrita da EQUAÇÃO 9, a EQUAÇÃO 15.

EQUAÇÃO 15 – UMIDADE RELATIVA.

$$UR = \frac{P_v}{P_{vst}}$$

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os materiais e métodos empregados na pesquisa. Ressalta-se que, em função do contexto da pandemia de COVID-19, esta pesquisa teve que ser reformulada ao longo do seu percurso.

Para a definição da estratégia de pesquisa tomou-se por base o elenco de métodos que consta no livro **Seleção do método de pesquisa: guia para pós-graduando em design e áreas afins**, organizado por Aguinaldo dos Santos.

Santos (2018) salienta que para uma adequada seleção do método de pesquisa é necessária a compreensão quanto ao nível de controle que o pesquisador terá sobre os eventos; o nível de contemporaneidade dos eventos; a necessidade ou não de se alcançar generalização estatística; o problema de pesquisa e a unidade de análise.

QUADRO 2 – CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA

Método	Tipo da questão de pesquisa	Requer controle sobre os eventos	Foca em eventos contemporâneos	Generalização estatística é requerida?	Foco da unidade de análise
Pesquisa ação	Como, por que?	não	sim	não	Processo da ação
Design science	O que, como?	sim	sim	não	Artefato
Etnografia	Quem, por que, quando, onde, o que, como?	não	sim	não	Comportamento
Estudo de caso	Como, por que?	não	sim/não ^a	não	Mudanças de estado
Revisão bibliográfica sistemática	Como, quantos, quando, o que?	não	não ^b	não	Bibliometria
Heurística	O que, por que?	não	sim/não	não	Princípios
Pesquisa histórica	Como, por que?	não	não	não	Eventos
Survey	Quem, o que, onde, quantos, quanto?	não	sim	sim	Perfil de uma população
Experimento	Como, por que?	sim	sim	sim	Correlação de variáveis

FONTE: Santos (2018).

De acordo com o que expõe Santos (2018), o método de pesquisa apropriado para este estudo é o *Survey*, considerando que os fenômenos estudados são contemporâneos e sem controle direto do pesquisador.

O *Survey* é um método de pesquisa quantitativo que busca caracterizar ou definir o perfil de uma população, tendo um escopo definido de dados coletados de forma padronizada. Este método se mostra adequado para pesquisas de caráter exploratório ou explicativo.

O método de *survey* foi aplicado neste trabalho com objetivo de se obter uma caracterização da percepção térmica dos usuários em edificações residenciais em Curitiba

Dadas as limitações sanitárias de distanciamento social, a primeira ideia de experimento, com coleta de dados presencialmente teve que ser adiada. Por isso, para o primeiro momento (1), elaborou-se um ciclo de coleta de dados de maneira virtual, através da ferramenta *Google Forms*, sem coleta de dados sobre as variantes ambientais internas. Em um segundo momento (2), projetou-se um experimento de monitoramento com coleta de dados ambientais internos e externos e de preferência dos respondentes em suas próprias unidades residenciais.

QUADRO 3 – SÍNTESE DAS ETAPAS DE PESQUISA

ETAPA	LOCAL	DADOS	PERÍODO
Primeira etapa	Curitiba e Região Metropolitana	Questionário	06/05/21 a 10/05/21
		Variáveis ambientais externas	29/06/21 a 04/07/21
			29/07/21 a 01/08/21
Segunda etapa	8 apartamentos em Curitiba	Questionário Variáveis ambientais internas e externas	22/04/22 a 14/06/22

FONTE: O autor (2022).

Este estudo está vinculado ao Projeto de Pesquisa coordenado pelo professor Leandro Carlos Fernandes, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFPR em 5 de maio de 2021, pelo parecer número 4.693.298. Também está registrado na Plataforma Brasil, do Ministério da Saúde, com Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) de número 42696820.2.0000.0102.

4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA

A cidade de Curitiba localiza-se no primeiro planalto paranaense (Figura 8) e segundo a classificação climática de Koppen está dentro da zona Cfb – subtropical oceânico.

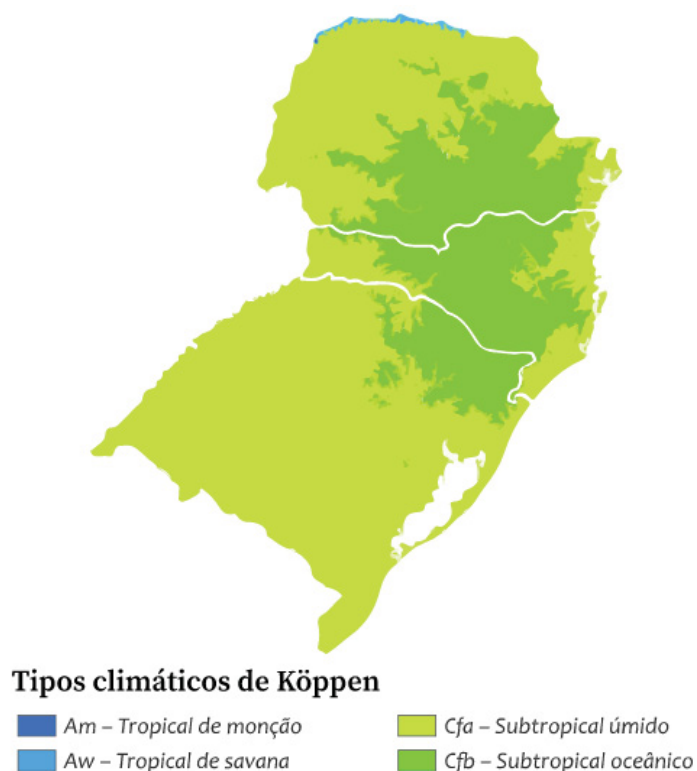
FIGURA 8 - MAPA DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA



FONTE: Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (2012).

O tipo climático Cfb é observado em somente 2,6% do território brasileiro (Figura 9). Curitiba é um local típico com este tipo de clima, com temperatura média anual de 17°C (20,5°C em janeiro e 13°C em julho) e precipitação anual de 1.550 mm, ligeiramente concentrado nos meses de verão (ALVARES et al., 2014).

FIGURA 9 - TIPOS CLIMÁTICOS DA REGIÃO SUL DO BRASIL, SEGUNDO KÖPPEN.

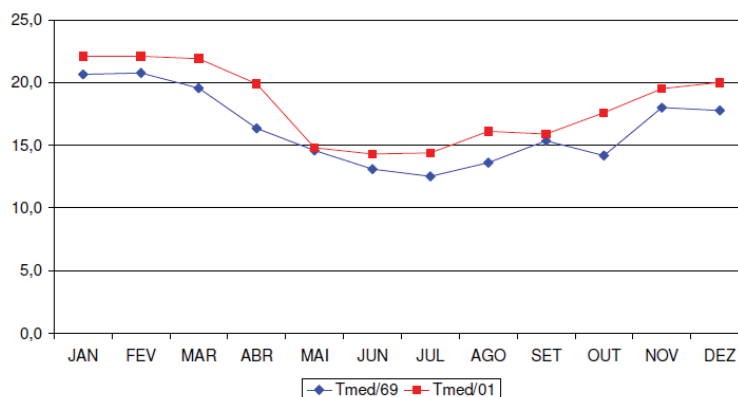


FONTE: Alvares et al. (2014)

Segundo a EMBRAPA (2019), o Cfb é um clima temperado, com verão ameno. Apresenta chuvas uniformemente distribuídas, sem estação seca e a temperatura média do mês mais quente não chega a 22°C. Precipitação de 1.100 a 2.000 mm. Geadas severas e frequentes, num período médio de ocorrência de 10 a 25 dias anualmente.

Rossi, Dumke e Krüger (2009), apresentam uma atualização do ano climático de referência para a cidade de Curitiba, verificando alterações no clima urbano em comparação com o (TRY – *test reference year*) obtido para o ano de 1969 (FIGURA 10). Os autores definiram o ano de 2001 como novo ano climático de referência, tendo como base os dados registrados entre 1998 e 2007. Salientam que houve um aumento médio significativo de 1,9°C.

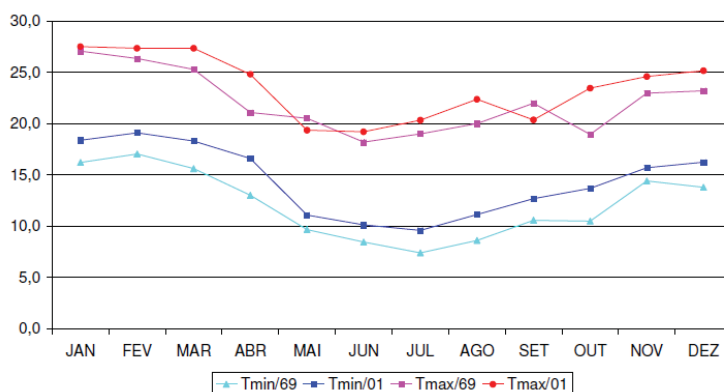
FIGURA 10 - COMPARAÇÃO ENTRE A MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÉDIAS
DOS ANOS DE 1969 E 2001



FONTE: Rossi, Dumke e Krüger (2009).

Assim, as médias das temperaturas mínimas e das temperaturas máximas apresentam-se mais altas no ano de 2001. O gráfico abaixo (FIGURA 11) demonstra algumas exceções, onde o ano de 1969 apresentou temperaturas mais altas (maio e setembro) (ROSSI, DUMKE e KRÜGER 2009).

FIGURA 11 - COMPARAÇÃO ENTRE A MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS E MÁXIMAS
DOS ANOS DE 1969 E 2001



FONTE: Rossi, Dumke e Krüger (2009).

As análises elaboradas por Rossi, Dumke e Krüger (2009) em base nos diagramas de conforto de Givoni, demonstram que a porcentagem de conforto em 2001 aumentou 20% em relação a 1969, apresentando uma menor necessidade de aquecimento artificial. A partir desse

estudo os autores afirmam que o desconforto térmico por frio em Curitiba tende lentamente a diminuir com a elevação das temperaturas médias, conforme dados da Tabela 1.

TABELA 1 – COMPARAÇÃO ENTRE GRAUS DE CONFORTO E DESCONFORTO E RESPECTIVAS ESTRATÉGIAS PARA OS ANOS DE 1969 E 2001

	1969	2001
Conforto	12,90%	32,90%
Desconforto	87,10%	67,20%
Frio	77,80%	53,30%
Massa Térmica/Aquec. Solar	54,00%	41,30%
Aquec. Solar Passivo	17,30%	7,92%
Aquec. Artificial	6,58%	4,10%
Calor	9,32%	13,90%
Ventilação	9,32%	13,90%

FONTE: Rossi, Dumke e Krüger (2009).

4.2 PRIMEIRA ETAPA

Esta etapa foi concebida como uma etapa inicial, exploratória, a fim de conhecer a percepção dos residentes de Curitiba e da Região Metropolitana desde uma perspectiva mais geral. Foi dedicada tanto a caracterizar a percepção térmica quanto a conhecer a opinião dos participantes quanto ao desempenho térmico de suas habitações. Para isso, foi aplicado um questionário paralelamente ao acompanhamento das condições meteorológicas no período, através dos dados de uma estação meteorológica.

Esta etapa também foi realizada para confirmar a necessidade da realização das demais etapas desta pesquisa.

Os dados subjetivos registrados pelos participantes, caracterizando sua percepção térmica, foram coletados utilizando um questionário *online*. Este questionário foi aplicado durante um período de tempo fechado. Paralelamente à coleta de dados subjetivos via questionário, foram coletados dados relativos à temperatura externa registrados pela estação meteorológica.

Este estudo se enquadra como uma pesquisa quali-quantitativa. Consideramos o monitoramento das variáveis climáticas externas como fornecedor de dados objetivos como

pesquisa quantitativa. Por outro lado, a coleta de dados subjetivos sobre a percepção dos usuários é considerada uma pesquisa qualitativa.

4.2.1 *Questionário*

O questionário foi elaborado segundo as orientações contidas nas normas ASHRAE 55-2020 e ISO 7730.

O material para coleta de dados sobre a percepção térmica segue um modelo similar a outros já utilizados em outras pesquisas brasileiras tais como as elaboradas por Linck (2013), Rupp (2018) e Santos (2018). O questionário da Etapa 1 encontra-se no Apêndice 1 deste documento.

O questionário foi desenvolvido contendo questões fechadas e abertas. Foi dividido em quatro partes:

- 1) Dados do participante (como gênero, idade, região de origem, município e bairro onde reside, vestimenta, atividade no momento das respostas);
- 2) Dados da moradia (tipologia, sistema construtivo, número de cômodos e pavimentos);
- 3) Dados do cômodo onde o participante respondeu o questionário (tipo de ambiente, orientação, posição e proximidade de janela);
- 4) E percepção térmica em atividade sedentária.

Para a aplicação, o questionário foi transcrito para a ferramenta *Google Forms*². O tempo para preenchimento era de aproximadamente 6 minutos.

Para dar início na participação deste estudo, todos os respondentes assinalaram ter lido e concordado com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Os participantes foram convidados a participar a partir de postagens em redes sociais vinculadas aos estudantes da UFPR (*Facebook*, *Twitter* e *Whatsapp*) e a partir de disparos em listas de *e-mails*.

² O *Google Forms* é um aplicativo de gerenciamento de pesquisas lançado pelo Google. Permite criar formulários, realizar pesquisas on-line e analisar as respostas (<https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>).

A aplicação e coleta de dados ocorreu em três momentos, uma no outono e duas no inverno de 2021, coincidindo com períodos de baixa temperatura. No total, foram respondidos 293 questionários válidos:

- 1) Coleta OUTONO 2021: realizada entre os dias 6 de maio de 2021 a 10 de maio de 2021. Nesta coleta foram registradas 69 respostas válidas.
- 2) Coleta INVERNO 2021.1: realizada entre os dias 29 de junho a 04 de julho de 2021. Produziu um total de 122 questionários respondidos, sendo 121 válidas.
- 3) Coleta INVERNO 2021.2: registrada por 103 respondentes entre os dias 29 de julho e 01 de agosto de 2021.

4.2.2 *Coleta de dados meteorológicos*

Por se tratar de uma pesquisa com abrangência regional, optou-se por utilizar dados da estação meteorológica CURITIBA-S810, pertencente à rede de estações automáticas do SIMEPAR, Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná, vinculado à Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo (SEDEST), localizada no *campus* Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná – UFPR, no bairro Jardim das Américas (FIGURA 12).

FIGURA 12 – LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CURITIBA S810



FONTE: Adaptado de Google Earth Pro.

LEGENDA: Campus Centro Politécnico da UFPR

A referida estação está situada na latitude -25,45 e longitude -49,23, com altitude de 922,91m.

Os dados coletados da estação são: temperatura do ar, umidade relativa, e pressão atmosférica. Salientando-se que o órgão responsável pela mesma (SIMEPAR), apesar de ter registros com intervalo de 15 minutos, apenas forneceu tabelas com dados com médias horárias por se tratar de estudo acadêmico.

4.2.3 *Análise de dados*

Dado às contingências impostas pela pandemia de Covid-19, os dados levantados através dos questionários limitaram a análise completa, correlacionando as respostas com as temperaturas operativas internas e umidade relativa interna.

Apresenta-se apenas dados ambientais externos, usados para o cálculo da temperatura neutra e faixa de conforto.

A análise se limita a dados estatísticos descritivos das respostas aos questionários.

4.3 SEGUNDA ETAPA

Esta etapa foi pensada de maneira a dar mais exatidão à coleta de dados, diferentemente da etapa anterior na qual foi impossível registrar as variáveis ambientais dos espaços internos onde os respondentes se encontravam.

O experimento foi planejado para ser realizado em apartamentos na cidade de Curitiba, onde foram instalados equipamentos de monitoramento interno. Assim o experimento consiste em coleta de dados ambientais internos em ambientes de alta permanência dos usuários, onde paralelamente seriam coletados dados sobre percepção térmica dos moradores, mediante aplicação de questionário específico a ser respondido dentro desses ambientes.

Para o desenvolvimento do experimento nesta fase foi feita uma adaptação do questionário original, eliminando-se as questões acerca das características físicas e construtivas da habitação do respondente, uma vez que essas informações seriam registradas pelo pesquisador no momento de instalação dos equipamentos. Dessa forma o questionário do experimento foca em questões de caracterização do indivíduo e sobre a percepção térmica do ambiente. Igualmente à fase anterior, o questionário aplicado foi disponibilizado com o *link* para o formulário *online*.

4.3.1 Questionário

O questionário desta etapa foi elaborado tomando como base o modelo que foi utilizado na Primeira Etapa. Como o modelo anterior, este questionário também foi elaborado segundo as orientações contidas nas normas ASHRAE 55-2020 e ISO 7730. O documento se encontra no Apêndice 2. Ao respondente foi fornecido o endereço virtual do questionário no *Google forms*. Esta plataforma registra automaticamente o horário e data de cada resposta efetuada.

O questionário foi desenvolvido contendo questões fechadas e abertas. Foi dividido em duas partes:

- 1) Dados do participante (como gênero, idade, região de origem, vestimenta, atividade nos momentos anteriores às respostas);
- 2) E percepção térmica em atividade sedentária, no ambiente monitorado com equipamentos.

Os dados acerca das características do ambiente, e dados construtivos do edifício foram documentados pelo pesquisador no momento em que os equipamentos foram instalados no ambiente. Nesse mesmo momento, em forma de entrevista, foram coletados os dados pessoais necessários para o cálculo de índice de massa corporal dos respondentes.

4.3.2 *Moradias monitoradas*

Nesta etapa de coleta de dados o experimento foi aplicado em oito apartamentos diversos. Num primeiro momento, pensou-se em aplicar somente em um condomínio específico. Dadas as dificuldades para encontrar mais respondentes nesse edifício, decidiu-se estender o experimento para outros edifícios.

O experimento foi iniciado no Edifício Rio Jordão, localizado no bairro Cajuru, onde houve a possibilidade de instalação dos equipamentos em 3 unidades residenciais.

Na sequência o experimento foi aplicado em outras cinco unidades habitativas de edifícios distintos: Edifício Gemini, Edifício Samambaia, Edifício Martim Afonso, Edifício Parque Residencial Batel e Edifício Orion.

TABELA 2 – LISTA DE APARTAMENTOS MONITORADOS

UNIDADE	EDIFÍCIO	No. RESPONDENTES
Apartamento 01	Rio Jordão	2
Apartamento 02	Rio Jordão	1
Apartamento 03	Rio Jordão	1
Apartamento 04	Gemini	1
Apartamento 05	Samambaia	2
Apartamento 06	Martim Afonso	1
Apartamento 07	Parque Residencial Batel	2
Apartamento 08	Orion	1

FONTE: O autor (2022).

A seguir serão apresentadas as características dos edifícios, com plantas dos apartamentos e fotografias mostrando a localização dos módulos de monitoramento. Esses dados ilustrativos não contemplam a totalidade de unidades estudadas, uma vez que nem todos

os moradores deram autorização para elaboração de levantamento arquitetônico e registro fotográfico de seus apartamentos.

4.3.2.1 Edifício Rio Jordão

Conjunto condominial composto por 6 torres de apartamentos, variando em 6 e 4 pavimentos, ocupando uma quadra inteira, no bairro Cajuru (FIGURA 13). Na totalidade são 72 apartamentos no condomínio (SMU, 2022). A edificação é construída em alvenaria estrutural cerâmica.

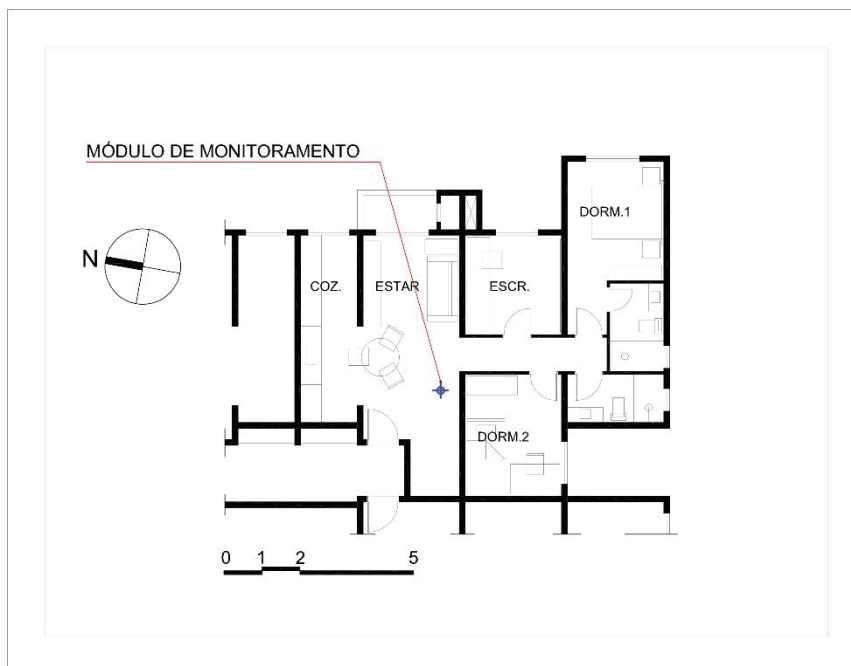
Neste edifício foram coletados dados de três apartamentos, assim nomeados: Apartamento 01 (FIGURA 14), Apartamento 02 e Apartamento 03.

FIGURA 13 – EDIFÍCIO RIO JORDÃO, RUA SÃO GABRIEL



FONTE: Google Street View (2021).

FIGURA 14 – PLANTA DO APARTAMENTO 01



FONTE: Leandro Carlos Fernandes (2022).

4.3.2.2 Edifício Gemini

O edifício Gemini é um ícone da arquitetura modernista da cidade. Foi projetado pelo arquiteto Elgson Ribeiro Gomes e teve sua construção concluída em 1974. (SMU, 2022). Localizado no centro da cidade, se constitui por um conjunto de duas torres sobre um embasamento comercial, implantando em um lote de esquina com face para três ruas: Rua Visconde de Nácar, Avenida Vicente Machado e Rua Conselheiro Araújo. Cada torre possui 19 pavimentos residenciais, com 2 apartamentos. O conjunto das duas torres possui na totalidade 76 apartamentos (FIGURA 15).

Seu sistema estrutural é em concreto armado, tendo os pilares evidenciados na composição da fachada principal. Os fechamentos são feitos em alvenaria de tijolos.

FIGURA 15 – EDIFÍCIO GEMINI, A PARTIR DA RUA VISCONDE DE NACAR

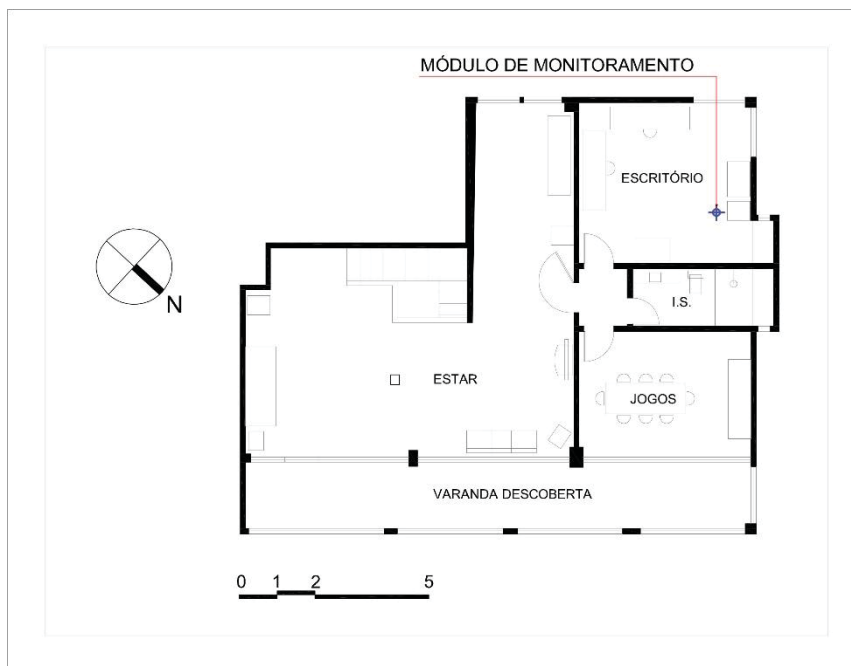


FONTE: O autor (2022).

Neste edifício foram coletados dados de um apartamento de cobertura, nomeado Apartamento 04. A unidade habitativa em questão é composta por dois pisos: inferior, onde se localizam dormitórios, área social e de serviço. No pavimento superior, encontram-se ambientes de estar, sala de jogos, escritório e varanda descoberta. A vedação da cobertura do pavimento superior é composta por conjunto de telhas metálicas, placas de isopor e forro em PVC.

O módulo de monitoramento foi instalado no ambiente utilizado como escritório pelos usuários (FIGURA 16). Este é o ambiente atualmente mais utilizado pelos usuários uma vez que ambos os moradores fazem uso intenso do escritório por desenvolverem trabalho remoto durante o período da pandemia de Covid-19.

FIGURA 16 – PLANTA DO APARTAMENTO 04 - NÍVEL SUPERIOR



FONTE: Adaptado de Camila França (2022).

4.3.2.3 Edifício Samambaia

Situado na Avenida Manoel Ribas, 576, no bairro Mercês, o edifício é composto por uma torre única. O pavimento térreo é ocupado com garagens e os demais 7 pavimentos são destinados às unidades residências, que totalizam 28 apartamentos. Segundo dados da Consulta Informativa do Lote (SMU, 2022) a construção do edifício data do ano de 1971 (FIGURA 17).

Construtivamente é composto por estrutura em concreto, com fechamentos em alvenaria de tijolos. O apartamento estudado encontra-se no terceiro pavimento, ocupando posição central na edificação. A unidade apresenta as esquadrias originais em ferro.

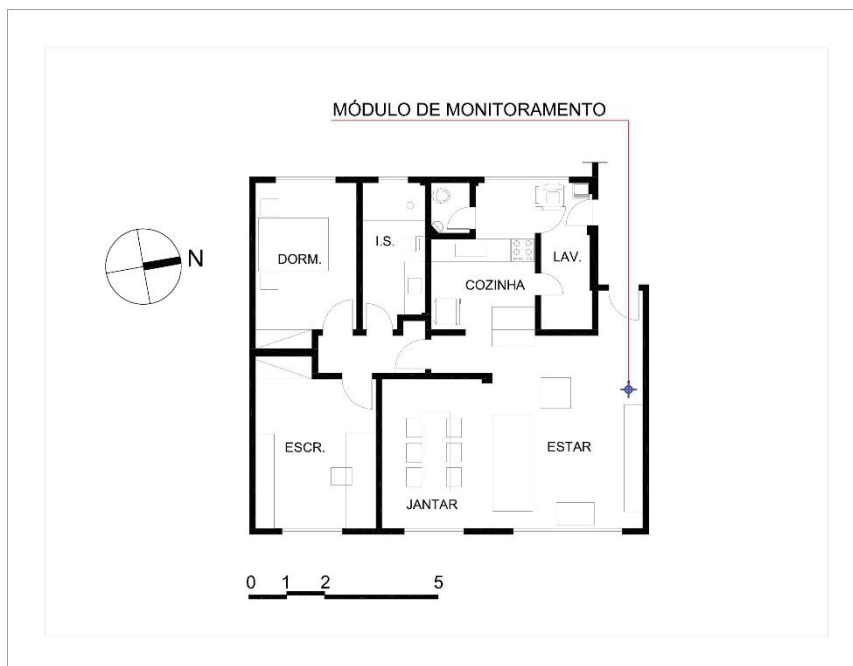
FIGURA 17 – EDIFÍCIO SAMAMBAIA



FONTE: O autor (2022).

Originalmente o apartamento possuía três dormitórios, o proprietário atual promoveu uma reforma alterando a planta original, transformando um dormitório em sala de jantar integrada ao estar e cozinha (FIGURA 18).

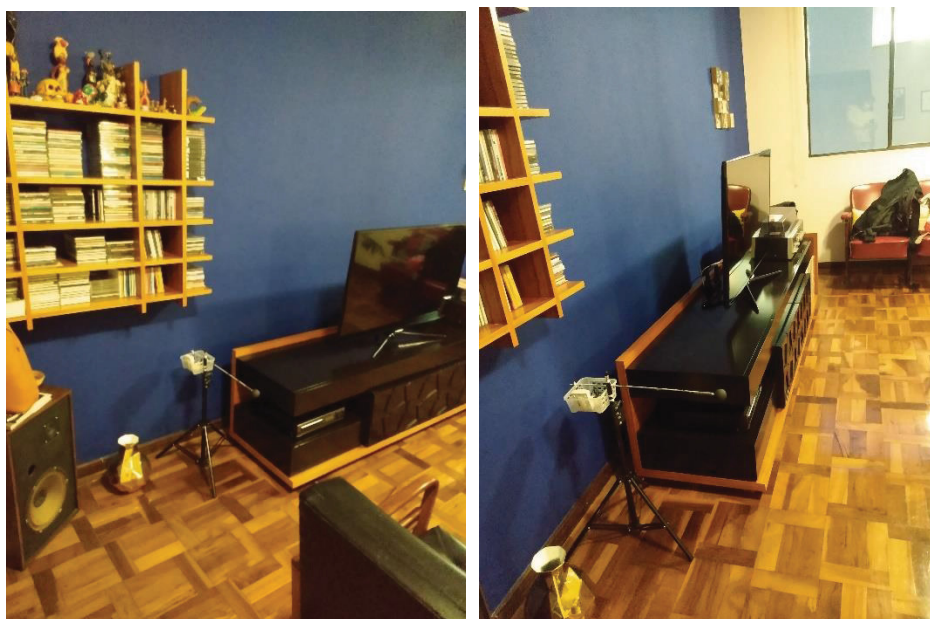
FIGURA 18 – PLANTA DO APARTAMENTO 05



FONTE: Adaptado de Ricardo Serraglio Polucha (2022).

O módulo de monitoramento foi instalado na sala de estar da unidade, que é integrada à sala de jantar e cozinha. Dessa forma é o ambiente de maior permanência dos usuários (FIGURA 19).

FIGURA 19 – POSIÇÃO DO MÓDULO DE MONITORAMENTO - APARTAMENTO 05



FONTE: O autor (2022).

4.3.2.4 Edifício Martim Afonso

O edifício localiza-se no bairro São Francisco, região central da cidade. Situado na rua Martim Afonso, 226. A edificação é datada do ano de 1964 (SMU, 2022), possuindo quatro pavimentos, onde se localizam as 21 unidades habitativas (FIGURA 20).

O sistema estrutural é em concreto armado, com fechamentos em alvenaria. O invólucro do edifício é em alvenaria dupla de tijolos. O apartamento estudado encontra-se no último pavimento, sob a laje de cobertura e telhado. A unidade ainda apresenta as esquadrias originais em ferro.

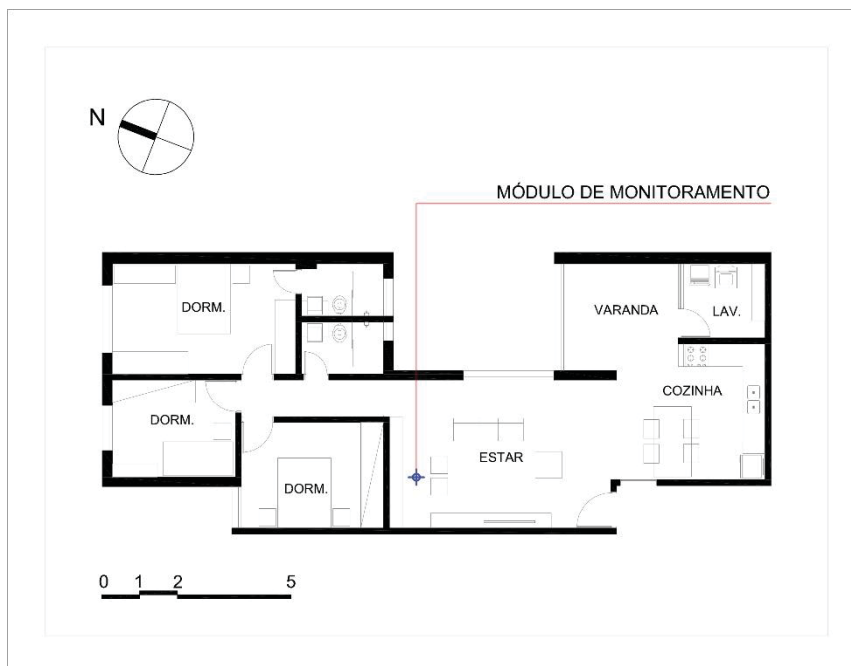
FIGURA 20 – EDIFÍCIO MARTIM AFONSO



FONTE: O autor (2022).

A unidade monitorada é o Apartamento 06. O mesmo encontra-se no terceiro e último pavimento (FIGURA 21). A cobertura do edifício é composta pelo conjunto de laje em concreto e cobertura metálica, sem qualquer isolamento.

FIGURA 21 – PLANTA DO APARTAMENTO 06



FONTE: O autor (2016).

O apartamento passou por reforma em 2005, alterando a configuração original, integrando a cozinha com os ambientes de estar e varanda fechada, onde originalmente era a área de serviço.

O módulo de monitoramento foi instalado na área de estar, local de maior permanência e fruição por parte dos moradores (FIGURA 22).

FIGURA 22 – POSIÇÃO DO MÓDULO DE MONITORAMENTO - APARTAMENTO 06



FONTE: O autor (2022).

4.3.2.5 Edifício Parque Residencial Batel

O edifício localiza-se no bairro Batel, região central da cidade. Situado na rua Francisco Rocha, 495. A edificação é datada do ano de 1964, possuindo quatro pavimentos, onde se localizam as 49 unidades habitativas (SMU, 2022) (FIGURA 23).

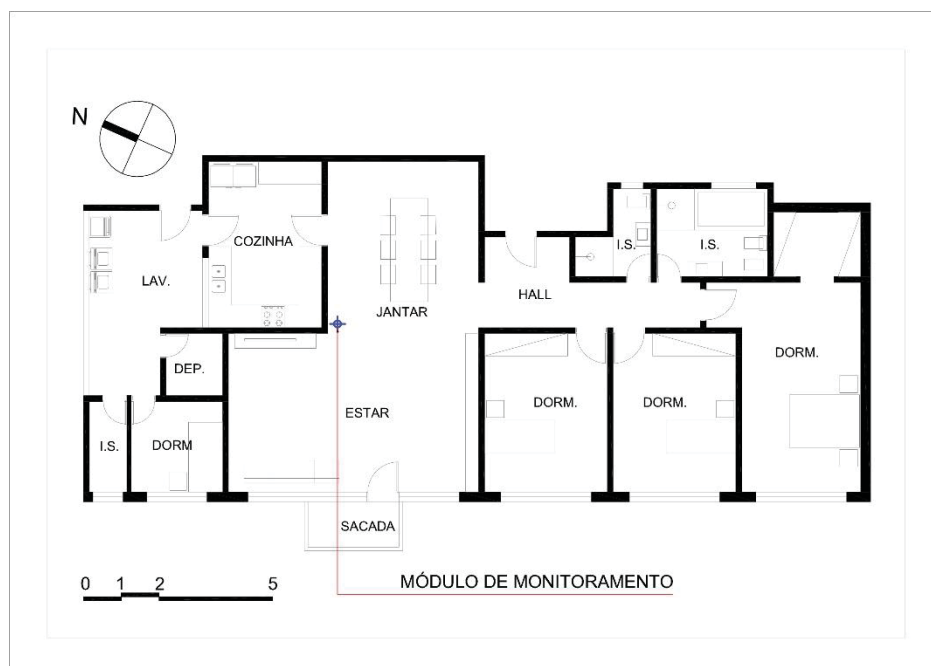
O sistema estrutural é em concreto armado, com fechamentos em alvenaria. O invólucro do edifício é em alvenaria de tijolos. O apartamento estudado encontra-se no segundo pavimento. A unidade ainda apresenta as esquadrias originais em ferro.

FIGURA 23 – EDIFÍCIO PARQUE RESIDENCIAL BATEL - FACHADA



FONTE: O autor (2022).

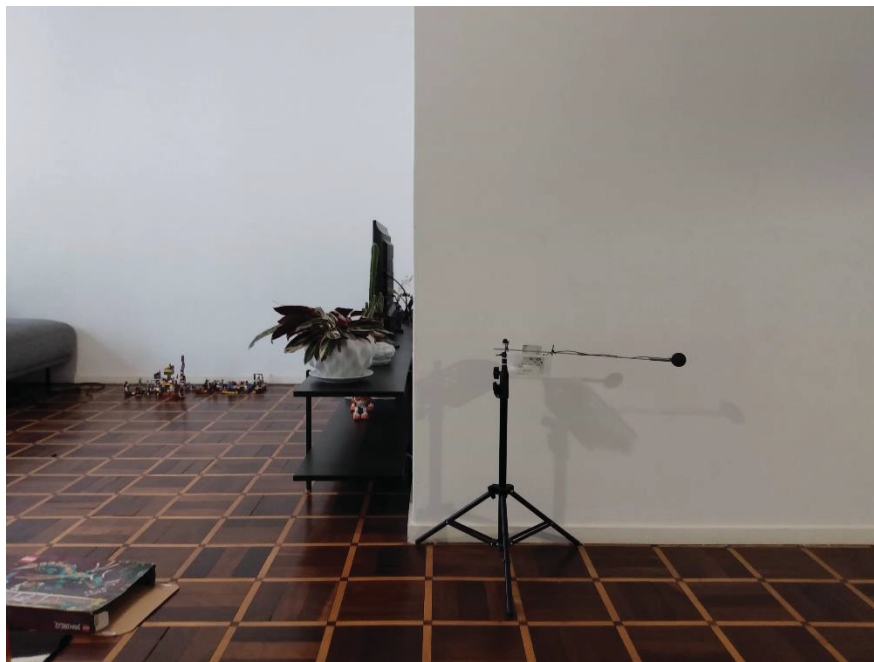
FIGURA 24 – APARTAMENTO 07 - PLANTA



FONTE: O autor (2022).

O ambiente mais utilizado pelos moradores é a sala de jantar e estar integradas. Optou-se em instalar o módulo de monitoramento na divisa imaginária entre estes dois ambientes, mais próximo da área de estar onde os dois respondentes efetuaram suas respostas (FIGURAS 24 e 25).

FIGURA 25 – EDIFÍCIO PARQUE RESIDENCIAL BATEL – POSIÇÃO DO MÓDULO DE MONITORAMENTO



FONTE: O autor (2022).

4.3.2.6 Edifício Orion

Localiza-se no bairro Centro, na rua Benjamin Constant, 551. O edifício é composto de torre única, com um total de 10.695,30m². O pavimento térreo é ocupado áreas coletivas e os demais 20 pavimentos são destinados às unidades residenciais, em um total de 80 apartamentos. Segundo dados da Consulta Informativa do Lote (SMU, 2022) a construção do edifício data do ano de 1974 (FIGURA 26).

FIGURA 26 – EDIFÍCIO ORION - FACHADA



FONTE: Google Street View, (2020).

Construtivamente é composto por estrutura em concreto, com fechamentos em alvenaria de tijolos. O apartamento estudado encontra-se no décimo primeiro pavimento, ocupando posição central na edificação. A unidade apresenta as esquadrias originais em alumínio.

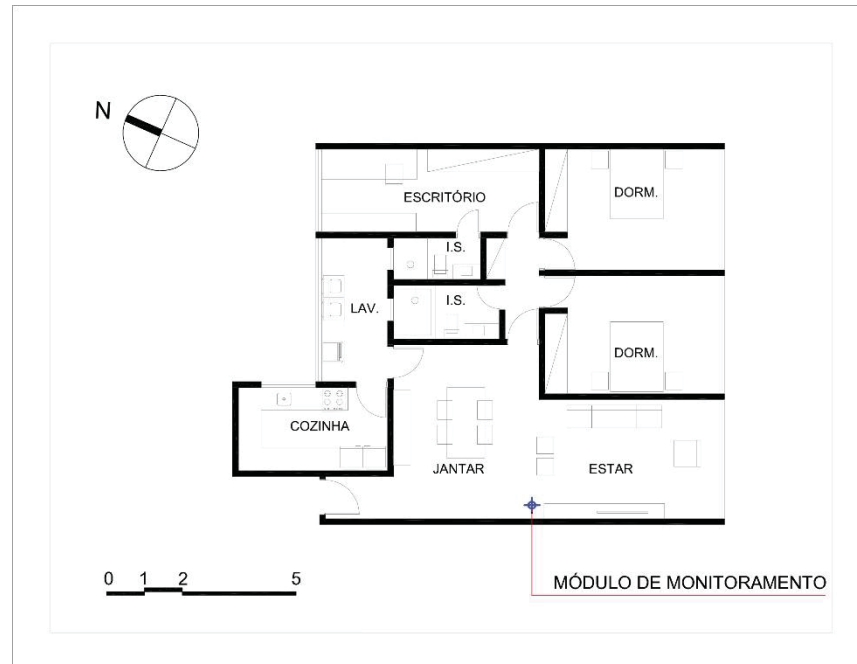
O ambiente monitorado foi escolhido por ser o mais utilizado pela moradora, especificamente durante a noite. A sala de estar integrada com a sala de jantar, onde o módulo foi instalado entre os dois ambientes (FIGURAS 27 e 28).

FIGURA 27 – EDIFÍCIO ORION – POSIÇÃO DO MÓDULO DE MONITORAMENTO



FONTE: O autor (2022).

FIGURA 28 – EDIFÍCIO ORION - PLANTA



FONTE: O autor (2022).

4.3.3 Monitoramento de dados dos ambientes internos

Para o monitoramento das variáveis internas foram utilizados 3 conjuntos com *dataloggers* associados, conjunto que foi denominado “Módulo de monitoramento”, e um Medidor de Estresse Térmico. Possibilitando desta forma o monitoramento concomitante de apartamentos distintos.

O Medidor de Estresse Térmico modelo TGD300, da marca Instrutherm (FIGURA 29), faz registros de temperaturas dentro da faixa de -5° a 60°C . Apresentando precisão de registro de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

FIGURA 29 – MEDIDOR DE ESTRESSE TÉRMICO – TGD300



FONTE: Instrutherm (2021).

Para expandir a pesquisa foi criado um módulo de monitoramento, composto de dois *dataloggers* associados. O conjunto de equipamentos foi fixado em um tripé, mantendo a altura dos sensores em 60cm a partir do piso, conforme norma ISO 7726.

O *datalogger* Elitech RC-4, realizou registros de temperatura de globo. O sensor externo deste *datalogger* foi fixado dentro de uma esfera plástica de 40mm de diâmetro, pintada com tinta preta fosca. Este conjunto foi fixado em uma haste metálica, distando 30cm do eixo vertical do tripé (FIGURA 30).

FIGURA 30 – MÓDULO DE MONITORAMENTO



FONTE: O autor (2021).

O *datalogger* da marca ONSET, modelo HOBO U12 (FIGURA 31), consegue registrar as temperaturas dentro da faixa de -20° a 70°C . Apresentando precisão de registro de $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ na faixa compressa entre 0° a 50°C .

FIGURA 31 - *DATALOGGER* ONSET, Modelo HOBO U12



FONTE: Manual ONSET (<https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-001>).

O *datalogger* da marca ELITECH, modelo RC-4 (FIGURA 32), com o uso do sensor externo, registra as temperaturas dentro da faixa de -40° a 85°C . Apresenta precisão de registro de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ na faixa compressa entre -20° a 40°C .

FIGURA 32 – *DATALOGGER* ELITECH, modelo RC-4./RC4-HC

FONTE: ELITECH (2021).

Todos os equipamentos foram programados para registrar dados em intervalos de 10 minutos. Seguindo recomendações da ISO 7726 (1998), os equipamentos foram instalados em locais protegidos de radiação térmica e incidência direta de raios solares.

Foi criado também um novo módulo de monitoramento, associando um *datalogger* da marca ONSET, modelo HOBO U12 e um outro *datalogger* da marca ELITECH, modelo RC-4HC. Este equipamento apresenta as mesmas características do modelo RC-4, com o diferencial de fazer registros de umidade numa faixa de 0 a 100%.

Todos os equipamentos foram programados para registrar dados em intervalos de 10 minutos. Seguindo recomendações da ISO 7726 (1998), os equipamentos foram instalados em locais protegidos de radiação térmica e incidência direta de raios solares. Também se atentou em instalá-los nos ambientes de maior uso, de modo a garantir que os respondentes registrassem suas respostas quando em atividade sedentária nestes espaços.

As características dos equipamentos utilizados na Etapa 2 estão descritas na TABELA 3.

TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS DOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS NA SEGUNDA ETAPA

Módulo Tipo	Equipamento	Variável	Marca/ Modelo	Precisão	Escala	Resolução
1	Medidor de stress térmico	- Temperatura de globo, - Temperatura de bulbo seco - Temperatura de bulbo úmido - Umidade	Instrutherm/ TGD-300	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$	- 5°C a 60°C	$0,1^{\circ}\text{C}$
2	<i>Datalogger 1</i>	- Temperatura de globo	Elitech/ RC-4	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$	- 40°C a 85°C	$0,1^{\circ}\text{C}$
	<i>Datalogger 2</i>	- Temperatura de bulbo seco	Onset / Hobo U12	$\pm 0,35^{\circ}\text{C}$	- 20° a 70°C	$0,024^{\circ}\text{C}$
3	<i>Datalogger 3</i>	- Temperatura de globo - Umidade	Elitech/ RC-4HC	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$	- 40°C a 85°C	$0,1^{\circ}\text{C}$
	<i>Datalogger 2</i>	- Temperatura de bulbo seco	Onset / Hobo U12	$\pm 0,35^{\circ}\text{C}$	- 20° a 70°C	$0,024^{\circ}\text{C}$

FONTE: O autor (2022).

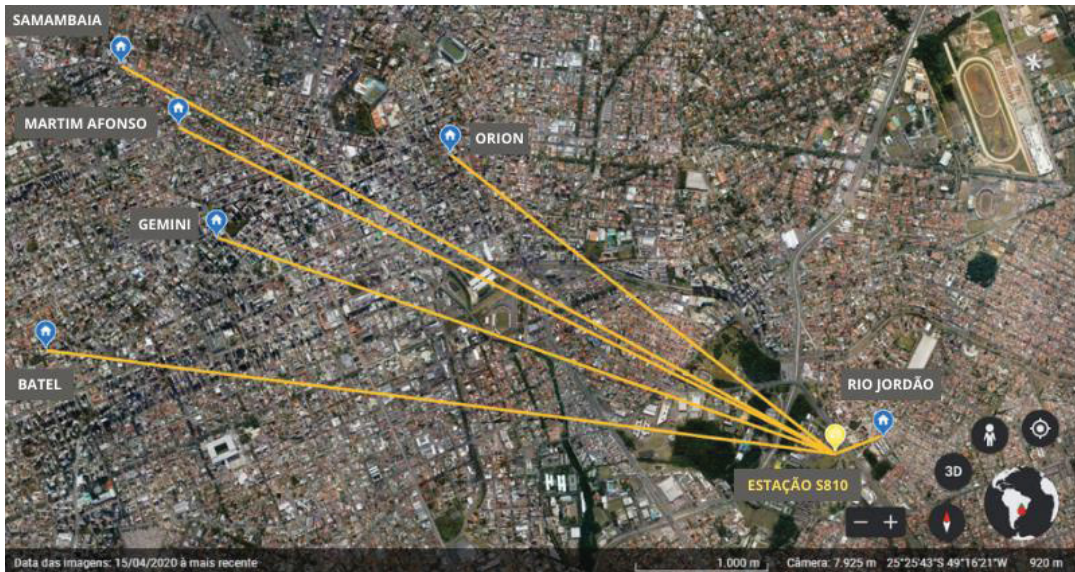
Nos ambientes internos, os sensores foram sempre instalados afastados das aberturas a fim de ficarem protegidos da incidência de radiação solar direta.

4.3.4 Monitoramento de dados do ambiente externo

Segundo dados coletados no aplicativo *Google Earth*, a estação meteorológica S810, do SIMEPAR, tem as seguintes distâncias lineares dos edifícios monitorados:

- a. Edifício Rio Jordão: 369,98m;
- b. Edifício Samambaia: 6.103,48m;
- c. Edifício Gemini: 5.002,54m;
- d. Edifício Martim Afonso: 5.533,78m;
- e. Edifício Parque Residencial Batel: 6.024,26m;
- f. Edifício Orion: 3.681,64m.

FIGURA 33 – LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA E DOS EDIFÍCIOS ESTUDADOS



FONTE: Adaptado de *Google Earth* (2022).

O SIMEPAR (Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná) cedeu dados com as médias horárias das seguintes variantes ambientais: temperatura do ar, umidade relativa e pressão atmosférica.

Para compreender melhor a relação dos usuários com o ambiente externo (ANSI/ASHRAE, 2021), foram também coletados dados referentes ao período de 30 dias anterior ao início do experimento.

4.3.5 *Processamento dos dados coletados*

Como informado, nos ambientes internos, foram coletados dados a cada 10 minutos. Essa medida se fez necessária para que fosse possível verificar os dados nos momentos próximos àqueles em que os participantes responderam o questionário.

A abordagem quanto à percepção térmica foi feita considerando duas perspectivas, a do modelo de Fanger (PMV/PPD) e a do modelo adaptativo da ASHRAE.

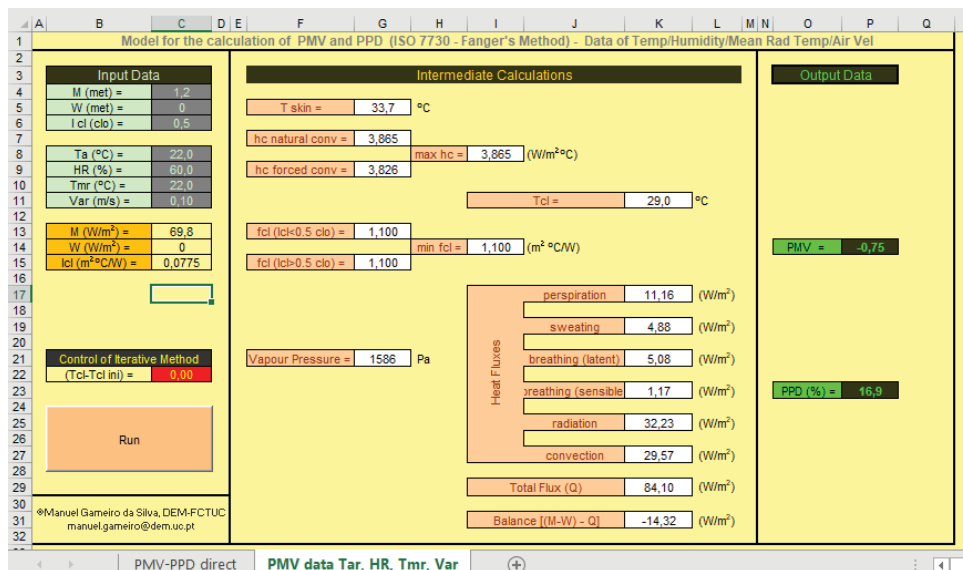
Para a obtenção dos valores do PMV foi necessária a compilação das planilhas com as respostas, individuando data e hora. Dessa forma foram identificados e separados os valores registrados de temperatura do ar interna, temperatura de globo interna, e umidade relativa interna, nos casos em que o equipamento registrava essa variável ambiental. A temperatura do

ar externa, pressão atmosférica, e umidade relativa do ar externa fornecidas pelo SIMEPAR também foram individuadas dentro da faixa horária correspondente ao registro de resposta ao questionário.

As temperaturas radiantes médias e temperaturas operativas foram calculadas a partir dos dados registrados pelos equipamentos. Os índices de isolamento das vestimentas foram computados conforme os dados coletados no questionário.

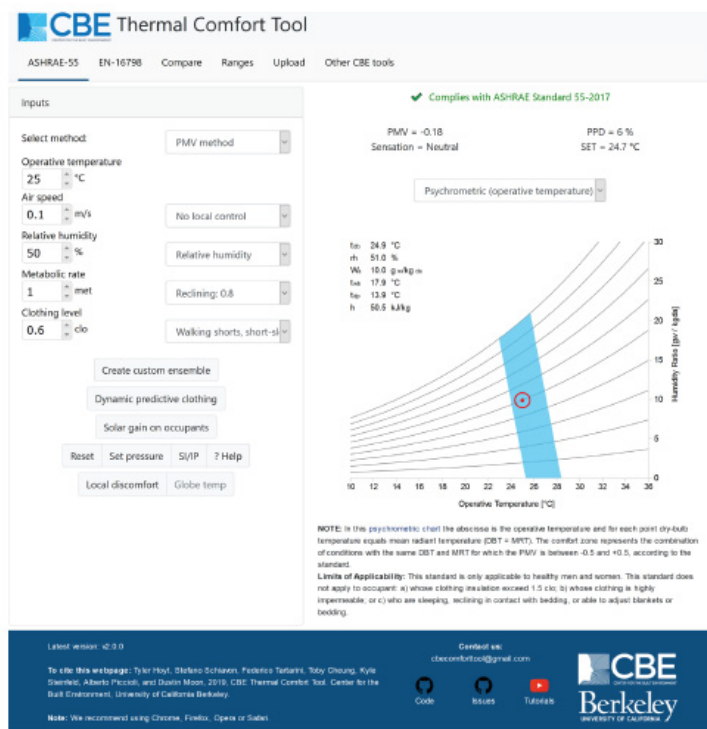
Com base na planilha compilada com as respostas e com os dados das variáveis ambientais procedeu-se o cálculo do PMV e PPD utilizando-se da ferramenta elaborada por Silva (2013), disponibilizada para o aplicativo *Microsoft Excel* (FIGURA 34).

FIGURA 34 - SPREADSHEETS FOR THE CALCULATION OF THERMAL COMFORT INDICES PMV AND PPD



FONTE: Silva (2013), com dados coletados pelo autor (2022).

Para fins de validação, usou-se os mesmos dados para confrontar os cálculos feitos na planilha com a ferramenta *CBE Thermal Comfort Tool*, disponibilizada *online* pelo *Center for de Built Environment*, da *Berkeley University of California* (FIGURA 35).

FIGURA 35 - PÁGINA INICIAL DA FERRAMENTA *CBE THERMAL CONFORT TOOL*.

FONTE: Hoyt (2020)

Com base nos dados compilados contendo as variáveis ambientais, procedeu-se os cálculos da temperatura neutra e faixa de conforto do período. Foram também estabelecidos cálculos da temperatura operativa média interna de cada apartamento nos respectivos períodos de resposta aos questionários.

Esse conjunto de dados foi plotado, estabelecendo relação com os dados externos, temperatura neutra e faixa de conforto.

4.3.6 *Análise dos dados*

De acordo com o propósito desta pesquisa, os dados levantados tiveram uma análise estatística inferencial, com identificação de relações entre variáveis que representem ou não relações de causa e efeito (SANTOS, 2018).

Segundo Santos (2018 apud Freitas et al., 2000), a dificuldade, complexidade e quantidade de tempo utilizado para análise dos dados está relacionada ao tipo da variável

utilizada na elaboração do questionário da *Survey*. Tais tipos de variáveis são: variável nominal, variável ordinal, variável intervalar ou variável de razão.

A pesquisa é quantitativa pelo uso da quantificação, tanto na coleta quanto no tratamento das informações, e se utiliza de técnicas estatísticas, com o objetivo de se atingir resultados fiéis, evitando distorções de análise e interpretação (DALFOVO, LANA e SILVEIRA, 2008).

Os dados coletados foram categorizados, de modo que possam ser analisados adequadamente. Para tanto foi necessária a codificação e tabulação das informações. Este método é necessário em *surveys*, principalmente naquelas em que os questionários são constituídos de perguntas fechadas.

As análises ocorreram segundo duas perspectivas diferentes:

- A) A análise conforme o modelo estático, fazendo uso dos dados coletados, permite calcular os índices PMV e PPD, conforme o que ditam as normas ASHRAE 55-2020 e ISO 7730 (2005).
- B) Análise conforme o modelo adaptativo, também conforme disposto na ASHRAE 55 (2020) para edificações naturalmente ventiladas. Para esta análise, foram coletados dados da temperatura média mensal externa dos 30 dias anteriores ao dia registro de dados. Em posse desses dados pôde ser calculada a temperatura neutra, bem como os limites para 80% e 90% de aceitabilidade térmica.

A análise da sensação e percepção térmicas dos respondentes registrada pelos questionários disposta em gráficos.

4.3.7 *Teste da hipótese da umidade relativa*

Os levantamentos sobre percepção térmica são de grande importância para o setor da construção civil, pois permitem elaborar modelos para avaliar as condições ambientais internas das edificações. No entanto, devido ao fato de que a percepção térmica é impactada por diversas variáveis ambientais (entre outros fatores), tradicionalmente são demandados diversos equipamentos para realização dos monitoramentos em ambientes internos. As variáveis tradicionalmente monitoradas são: 1) temperatura do ar, 2) temperatura de globo, 3) umidade relativa e 4) velocidade do ar. Como resultado do número de sensores necessários, os levantamentos em ambientes internos acabam se tornando financeiramente caros e muitas vezes

inviáveis. Quanto aos ambientes externos, muitas vezes são utilizados dados de uma estação meteorológica localizada próxima do edifício monitorado, sem implicar em custos financeiros diretos para a pesquisa.

Aparentemente, no contexto brasileiro, o custo impacta diretamente o número de levantamentos sobre percepção térmica. Também impacta no tipo de levantamentos realizados. Entre os levantamentos realizados, predominam aqueles feitos em escritórios e escolas e são raros os levantamentos em edificações residências. Isso se deve à possibilidade de potencialização do uso dos equipamentos em edifícios de escritórios e escolas, pois um grande número de pessoas pode ser reunido em apenas um ambiente e, assim, com apenas um conjunto de sensores, é possível avaliar as respostas de diversos respondentes (funcionários ou estudantes).

Esse contexto resulta no fato de que, apesar do fato de que o tipo de edificação predominante no estoque nacional seja o de edificações residenciais e embora, no geral, as pessoas passem mais tempo em suas casas do que em outros tipos de edificações, poucas são as pesquisas sobre percepção térmica em residências.

Em função do relatado, esta etapa da pesquisa teve como objetivo verificar a validade da hipótese de que seja possível estimar a umidade relativa de ambientes internos, o que dispensaria a instalação de sensores para essa finalidade.

Para essa verificação, foram utilizados dados da temperatura do ar medidos em um ambiente interno e de dados do ambiente externo (temperatura do ar, altitude e umidade relativa).

Em um primeiro momento, a partir dos dados do ambiente externo, foram calculadas:

- A pressão de ar seco dos ambientes externo e interno (EQUAÇÃO 5).
- A pressão de vapor saturado do ambiente externo. Este cálculo foi realizado duas vezes a fim de verificar diferenças, com equações as equações sugeridas pela ASHRAE (EQUAÇÃO 6 e EQUAÇÃO 7) e equação de Antoine (EQUAÇÃO 8).
- A pressão atual de vapor do ambiente externo (EQUAÇÃO 9).
- A pressão atmosférica aproximada nos ambientes interno e externo (EQUAÇÃO 10). Este valor foi checado utilizando-se a EQUAÇÃO 11.
- A umidade absoluta (em g/kg) nos ambientes externo e interno (EQUAÇÃO 13).

Em um segundo momento, foram estimados valores apenas para o ambiente interno:

- A pressão de vapor saturado do ambiente interno. Da mesma maneira que para o ambiente externo, também foram utilizadas as equações sugeridas pela ASHRAE (EQUAÇÃO 6 e EQUAÇÃO 7) e equação de Antoine (EQUAÇÃO 8). Neste cálculo foram utilizados os valores das temperaturas internas do ar, que, na maior parte do tempo, eram diferentes dos valores para o ambiente externo.

- A pressão atual de vapor do ambiente interno (EQUAÇÃO 9). Para este cálculo os valores da umidade absoluta (em g/kg) para o ambiente interno foram considerados como idênticos aos valores calculados para o ambiente externo.

- A umidade relativa no ambiente interno (EQUAÇÃO 15). Estes valores foram então comparados com os dados medidos.

Esse experimento foi realizado duas vezes:

- a) Utilizando dados externos fornecidos pelo SIMEPAR e dados internos medidos em um dos apartamentos (Apartamento 01).
- b) Utilizando dados externos medidos pelo autor na estação meteorológica e dados internos medidos em um dos apartamentos (Apartamento 01).

4.3.7.1 Utilizando dados externos fornecidos pelo SIMEPAR e dados internos medidos em um dos apartamentos

Esta tentativa de estimar a umidade relativa foi realizada exclusivamente com a finalidade de validar a hipótese testada. Sua aplicação é restrita, uma vez que os dados fornecidos pelo SIMEPAR eram de base horária, o que impedia a sua utilização para calcular a UR nos momentos das respostas dos questionários, que dificilmente aconteciam nas “horas cheias”.

4.3.7.2 Utilizando dados externos medidos pelo autor na estação meteorológica e dados internos medidos em um dos apartamentos

Esta tentativa difere da anterior por utilizar dados de 5 em 5 minutos, o que resultou em um volume muito maior de registros.

Para testar esta hipótese, foram realizadas duas rodadas de testes: A) A primeira rodada envolveu dados de base horária da estação do SIMEPAR localizada no Centro Politécnico e dados de um apartamento em bairro próximo, a aproximadamente 370m lineares. B) A segunda

rodada de testes utilizou dados medidos a cada cinco minutos, registrados com *dataloggers* da marca Elitech, modelo RH-4C, um dos aparelhos foi instalado no Centro Politécnico em miniestação de propriedade do curso de Geografia (FIGURA 36), e outro no mesmo apartamento da rodada anterior.

FIGURA 36 – POSIÇÃO DO *DATALOGGER* – CENTRO POLITÉCNICO

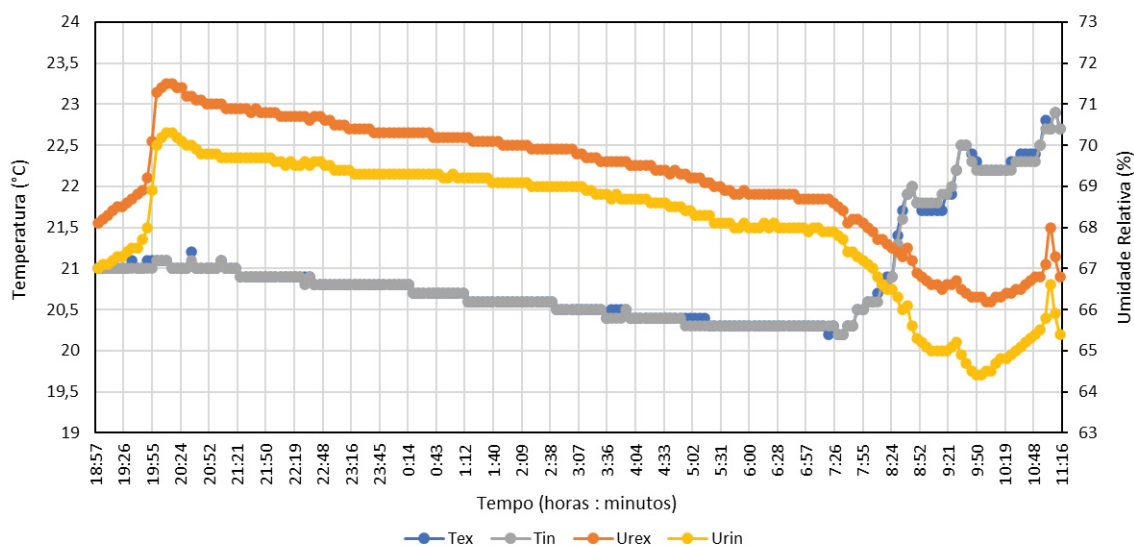


FONTE: O autor (2022).

4.3.7.3 Calibração dos sensores de umidade relativa

Para calibração dos *dataloggers* de temperatura e umidade relativa dos aparelhos modelo Elitech, os aparelhos foram colocados próximos e monitorando as variáveis desde as 19h00 do dia 21/7/2022 até 11h15min do dia 22/7/2022. Para verificar diferenças entre os valores registrados nos dois equipamentos, foram subtraídos dos valores registrados no *datalogger* 1 os valores registrados pelo *datalogger* 2. Observou-se que os valores para as temperaturas ficaram muito próximos, com diferença média de 0,01°C, diferença mínima de -0,20°C e diferença máxima de 0,10°C. Em se tratando dos valores registrados para a umidade relativa, as diferenças foram maiores: diferença média de 1,07%, diferença mínima de 0,70% e diferença máxima de 1,90%. Em função dessa diferença, no experimento buscando estimar a umidade relativa, os valores registrados internamente (*datalogger* 1) sofreram adição de 1%.

FIGURA 37 - VALORES DE TEMPERATURA (°C) E UMIDADE RELATIVA (%) REGISTRADO REGISTRADOS PARA O TESTE DE CALIBRAÇÃO DOS DATA LOGGERS 1 E 2.



FONTE: O autor (2022).

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Como descrito anteriormente esta pesquisa foi desenvolvida em 3 fases distintas, em parte condicionadas pela pandemia de COVID-19, produzindo diferentes tipos de dados (TABELA 4).

TABELA 4 - RESUMO DOS DADOS COLETADOS

ETAPA	DADOS AMBIENTAIS	DADOS QUESTIONÁRIOS
Primeira etapa	Variáveis ambientais externas	69 respostas
		121 respostas
		103 respostas
Segunda etapa	Variáveis ambientais internas	124 respostas
	Variáveis ambientais externas	

FONTE: O autor (2022).

5.1 PRIMEIRA ETAPA

Nesta etapa exploratória, realizada de maneira remota, foram aplicados questionários a fim de colher respostas focadas principalmente na percepção térmica dos participantes. Foram realizadas três campanhas de coleta de dados, uma no outono e duas no inverno de 2021.

TABELA 5 – CAMPANHAS DE COLETAS

COLETAS	PERÍODO		RESPOSTAS
Coleta 1	6/05/2021 a 10/05/2021	OUTONO 2021	69 respostas
Coleta 2	29/06/2021 a 04/07/2021	INVERNO 1-2021	121 respostas
Coleta 3	29/07/2021 a 0/08/2021	INVERNO 2-2021	103 respostas

FONTE: O autor (2022).

5.1.1 Perfil dos respondentes

Nas três coletas da primeira etapa foram registradas 293 respostas válidas, sendo eliminadas aquelas registradas por não residentes da Região Metropolitana de Curitiba. A maioria dos respondentes são do sexo feminino, totalizando 69,62% dos participantes (vide TABELA 6).

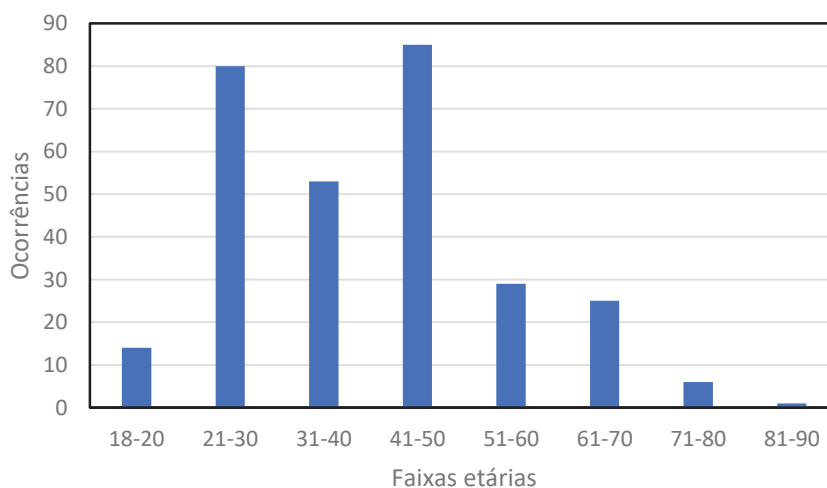
TABELA 6 – SEXO DOS RESPONDENTES

COLETAS	MASCULINO	FEMININO	TOTAL
Coleta 1	22	47	69
Coleta 2	41	80	121
Coleta 3	26	77	103
	89	204	293

FONTE: O autor (2021).

No que se refere à faixa etária, verifica-se concentração de respondentes na faixa compreendidas entre 21 e 30 anos e na faixa entre 41 e 50 anos (FIGURA 38).

FIGURA 38 - FAIXA ETÁRIA DOS RESPONDENTES – ETAPA 1



FONTE: O autor (2021).

5.1.2 Variáveis ambientais

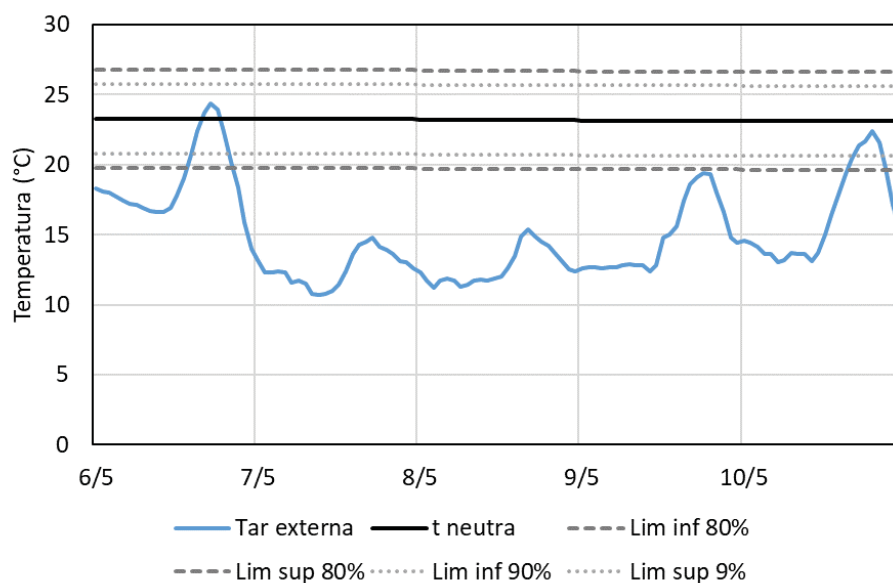
Como explicitado anteriormente, nesta fase, devido às limitações sanitárias, foram apenas registrados dados das temperaturas externas dos períodos de coleta.

5.1.2.1 Temperaturas externas - Outono de 2021

Inicialmente, foi realizada uma rodada piloto de coleta de dados dos respondentes entre os dias 6 e 10 de maio de 2021, coincidindo, propositadamente, com a chegada de uma frente fria, conforme pode ser observado na FIGURA 39. A escolha desse momento específico para a aplicação é o fato de que esta pesquisa e seus questionários foram voltados para a percepção térmica em períodos frios.

Na FIGURA 39 também está plotada a faixa de temperaturas operativas internas recomendadas segundo a ANSI/ASHRAE Standard – 55 (ASHRAE, 2020). Embora a frente fria tenha resultado em temperaturas abaixo da faixa recomendada para o interior de edificações, em nenhum momento (nos dias 7, 8, 9 e 10) as temperaturas externas estiveram abaixo de 10 °C. Ou seja, não se tratou de um período de frio rigoroso. Entretanto as temperaturas externas mantiveram-se abaixo do limite da faixa de conforto por 98,17% do tempo e somente por 10,83% dentro da faixa de conforto.

FIGURA 39 - TEMPERATURAS EXTERNAS DO AR – 06 A 10 DE MAIO DE 2021.



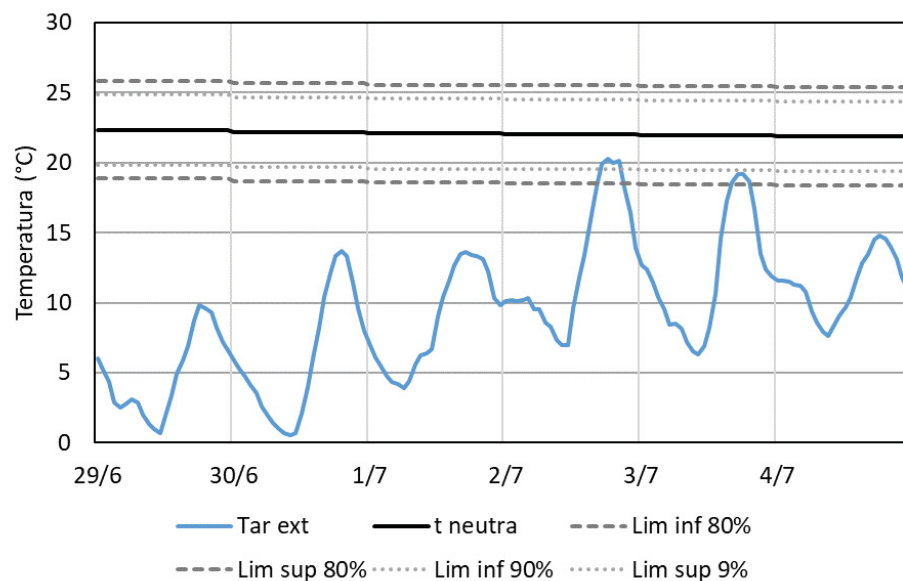
FONTE: O autor (2021), a partir de dados do SIMEPAR.

5.1.2.2 Temperaturas externas - Inverno de 2021, fase 1

Entre os dias 29 de junho e 04 de julho de 2021 foi realizada nova campanha de coleta de dados via internet com a ferramenta *Google Forms*. Também nesta etapa, foram observadas as previsões climáticas de modo a coincidir a aplicação dos questionários com a chegada de uma frente fria. Esta coleta produziu 121 respostas consideradas válidas.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** foi plotada a faixa de temperaturas confortáveis, a partir da definição da temperatura neutra. Nota-se claramente que o período do levantamento foi de frio intenso, majoritariamente registradas temperaturas abaixo de 10 °C em 55,56% do tempo. Verificou-se também que em raros momentos a temperatura atingiu a faixa de conforto (5,56%). Já que em 94,44% do tempo as temperaturas foram registradas abaixo do limite inferior da faixa de conforto.

FIGURA 40 - TEMPERATURAS EXTERNAS DO AR - 29/06 A 04/07/2021.



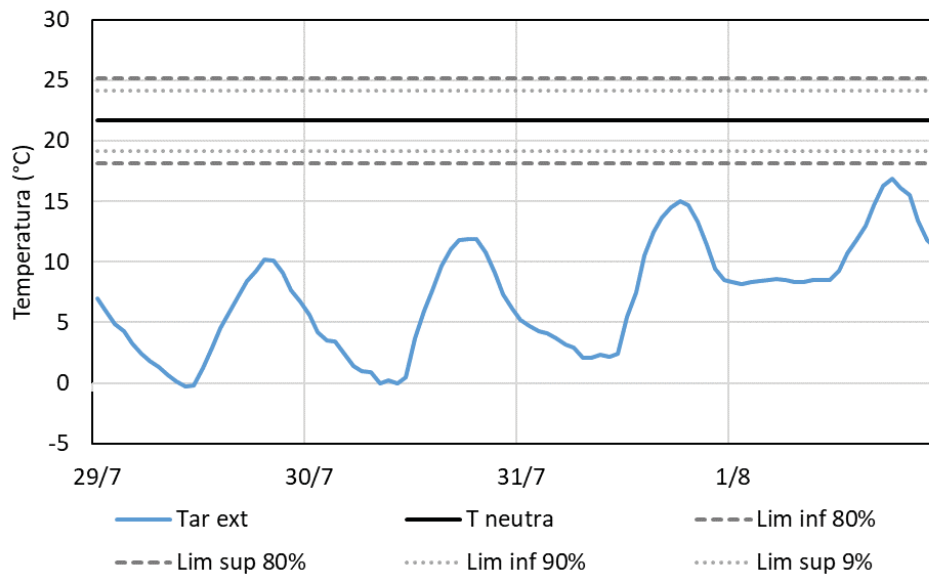
FONTE: O autor (2021), a partir de dados do SIMEPAR.

5.1.2.3 Temperaturas externas - Inverno de 2021, fase 2.

A última campanha de coleta de dados online foi feita entre os dias 29 de julho e 01 de agosto de 2021.

A frente fria resultou em temperaturas abaixo da faixa recomendada, na totalidade do período monitorado, tendo alguns momentos temperaturas negativas. Em 72,92% do período foram registradas temperaturas abaixo dos 10°C (FIGURA 41).

FIGURA 41 - TEMPERATURAS EXTERNAS DO AR – 29/7 A 01/08/2021.



FONTE: O autor (2021), a partir de dados do SIMEPAR.

5.1.3 Dados sobre respostas sobre conforto térmico

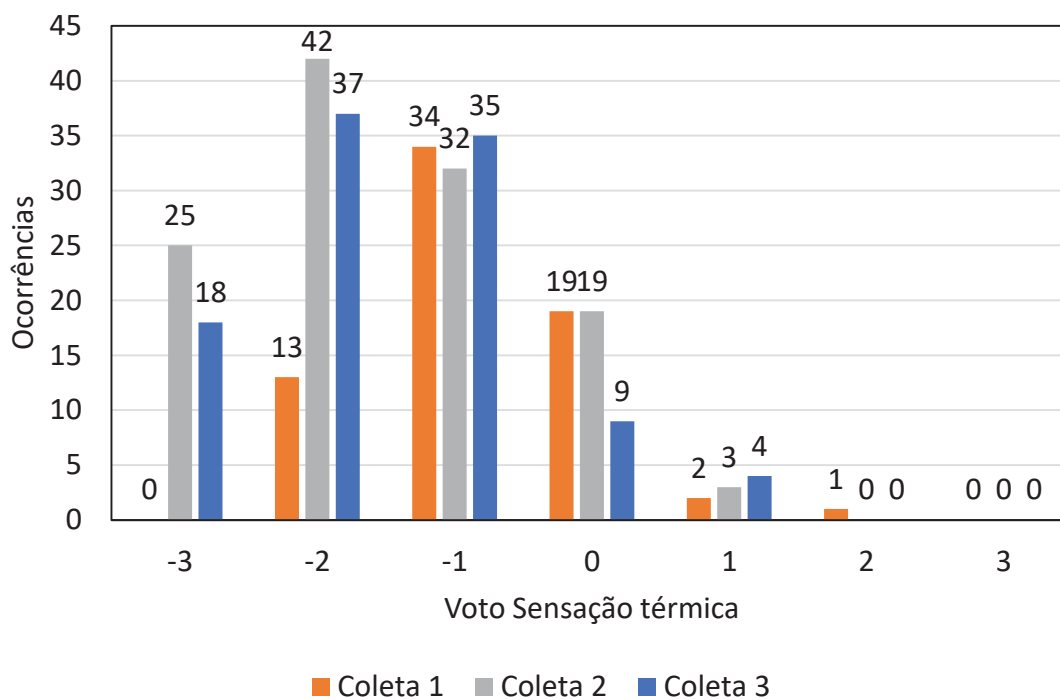
Nesta seção foram registrados os votos dos respondentes quando à sensação térmica, conforto térmico, preferência térmica e de movimento de ar, bem como outros fatores de incomodo no ambiente.

5.1.3.1 Sensação térmica

A maioria dos respondentes considerou a sensação de “levemente frio” como preponderante, 34,47%. Os votos para “frio” foram 31,40% e 14,67% para “muito frio”. Para 16,04% da amostra o ambiente é “neutro”. Tais respostas podem ser consideradas com um indicativo de que o desempenho térmico das edificações nas quais os respondentes residiam fica aquém do adequado, considerando que os votos negativos somam um total de 80,55% (levemente frio, frio, muito frio).

A figura 42 mostra a síntese de resultados registrados pelos respondentes na questão sobre a sensação térmica no momento.

FIGURA 42 - VOTOS DE SENSACÃO TÉRMICA – ETAPA 1



FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: -3=muito frio; -2=frio; -1=levemente frio; 0=neutro;

1=levemente quente; 2=quente; 3=muito quente

O voto médio registrado foi de -1,38, demonstrando que a maioria dos respondentes relatavam frio no momento da resposta (Tabela 7).

TABELA 7 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTOS SENSACÃO TÉRMICA – ETAPA 1

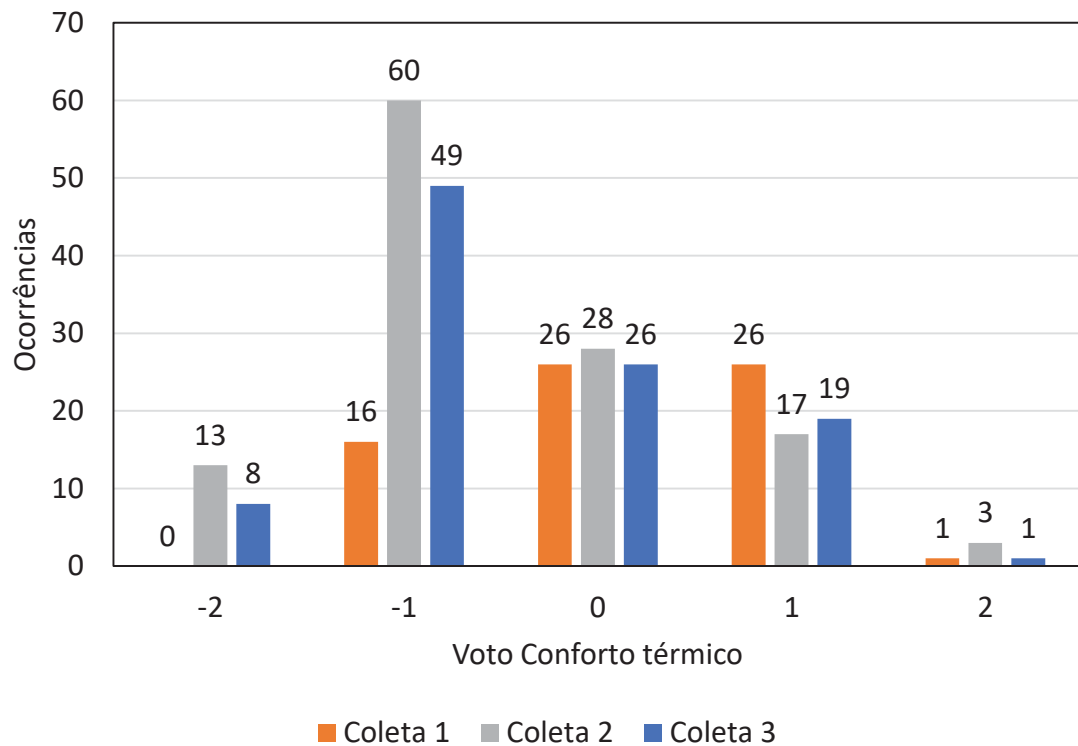
Indicador	Valor
Média	-1,38
Mediana	-1
Modo	-1
Desvio padrão	1,04
Variância da amostra	1,08
Curtose	-0,32
Assimetria	0,25

FONTE: O autor (2021).

5.1.3.2 Conforto térmico

Analisando as respostas sobre o conforto térmico (FIGURA 43), nota-se que a maioria dos respondentes sentem-se desconfortáveis em suas residências. Para 42,66% suas residências são desconfortáveis e 7,17% as consideram muito desconfortáveis. Entretanto os votos de “neutro” totalizam 27,30%. Mas uma expressiva porcentagem de 21,16% considera seus ambientes como confortáveis. E os restantes 1,71% dizem ter residências muito confortáveis.

FIGURA 43 - VOTOS DE CONFORTO TÉRMICO – ETAPA 1



FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: -2=muito desconfortável; -1=desconfortável; 0=neutro;
1=confortável; 2=muito confortável

Em contraste com as respostas relativas à sensação térmica, parte considerável dos respondentes relatam sentir-se confortáveis com o ambiente térmico, apresentando voto médio de -0,38, conforme dados da tabela 8.

TABELA 8 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTOS CONFORTO TÉRMICO – ETAPA 1

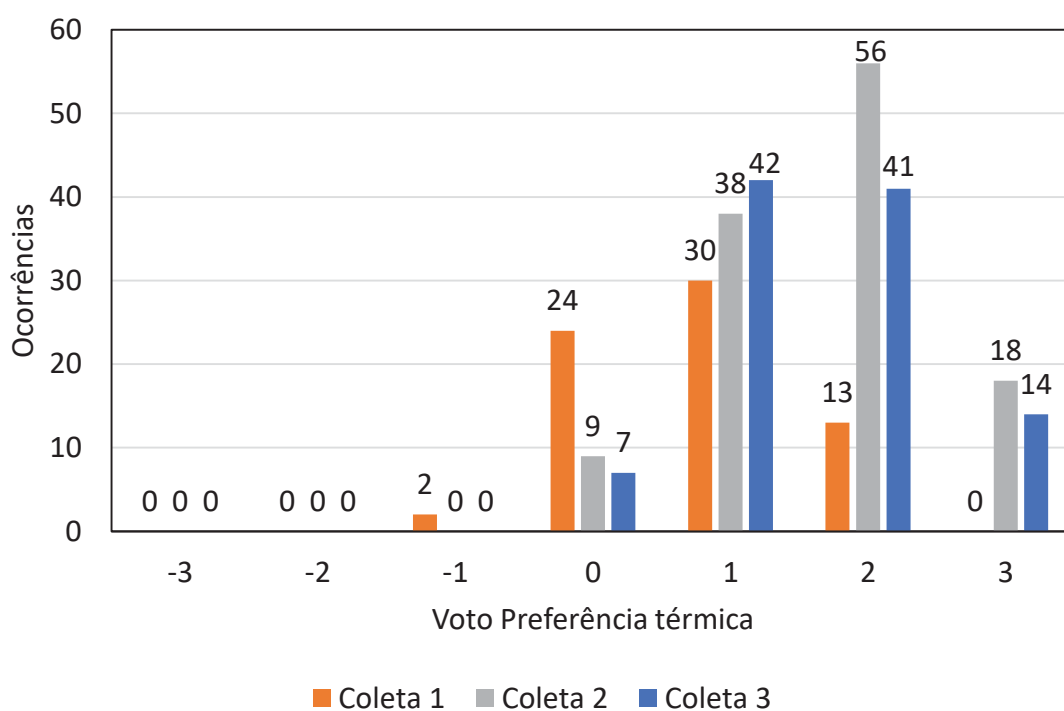
Indicador	Valor
Média	-0,32
Mediana	0
Modo	-1
Desvio padrão	0,94
Variância da amostra	0,89
Curtose	-0,70
Assimetria	0,29

FONTE: O autor (2021).

5.1.3.3 Preferência térmica

Na avaliação do número de respostas relativas à preferência térmica, temos que 37,54% dizem que o ambiente deveria estar “um pouco mais quente”. Outros 37,20% dos respondentes dizem preferir um ambiente “mais quente” e um número reduzido de 10,92% relatam que gostariam de um ambiente “bem mais quente”. Outros 13,65%, preferem um ambiente sem mudanças e somente 0,68% dos respondentes relatam a preferência por um ambiente “um pouco mais frio”. Novamente, consideradas essas respostas, nota-se que há um indicativo do baixo desempenho das moradias (FIGURA 44 e TABELA 9).

FIGURA 44 - VOTO DE PREFERÊNCIA TÉRMICA – ETAPA 1



FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: -3=bem mais frio; -2=mais frio; -1=pouco mais frio; 0=sem mudanças; 1=pouco mais quente; 2=mais quente; 3=bem mais quente.

TABELA 9 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTOS PREFERÊNCIA TÉRMICA – ETAPA 1

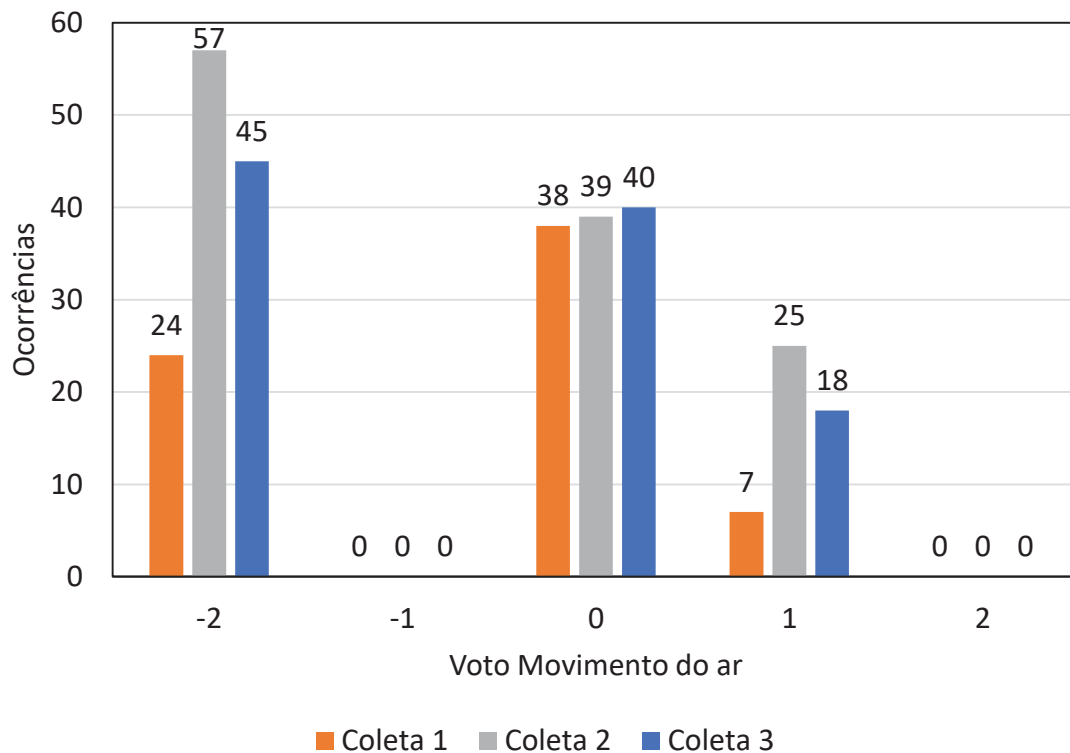
Indicador	Valor
Média	1,44
Mediana	1
Modo	1
Desvio padrão	0,88
Variância da amostra	0,78
Curtose	-0,47
Assimetria	-0,08

FONTE: O autor (2021)

5.1.3.4 Movimento do ar

Sobre a preferência por movimento do ar no ambiente (FIGURA 45), as respostas resultaram que 39,93% dos respondentes preferem a mesma situação do momento. Outros 43% dizem que gostariam de um ambiente sem movimento de ar. Por outro lado, 17,06% preferiam um pouco mais de movimento do ar. Tais resultados, contrários ao aumento da velocidade do ar, também apontam para a possibilidade de que os ambientes internos das edificações estivessem excessivamente frios (TABELA 10).

FIGURA 45 - VOTOS DE PREFERÊNCIA POR MOVIMENTO DO AR – ETAPA 1



FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: -2=sem movimento de ar; -1=um pouco menos de movimento de ar; 0= o mesmo; 1= um pouco mais de movimento de ar; 2= muito mais movimento de ar

TABELA 10 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTOS MOVIMENTO DO AR – ETAPA 1

Indicador	Valor
Média	-0,695
Mediana	0
Modo	-2
Desvio padrão	1,19
Variância da amostra	1,42
Curtose	-1,63
Assimetria	-0,01

FONTE: O autor (2021).

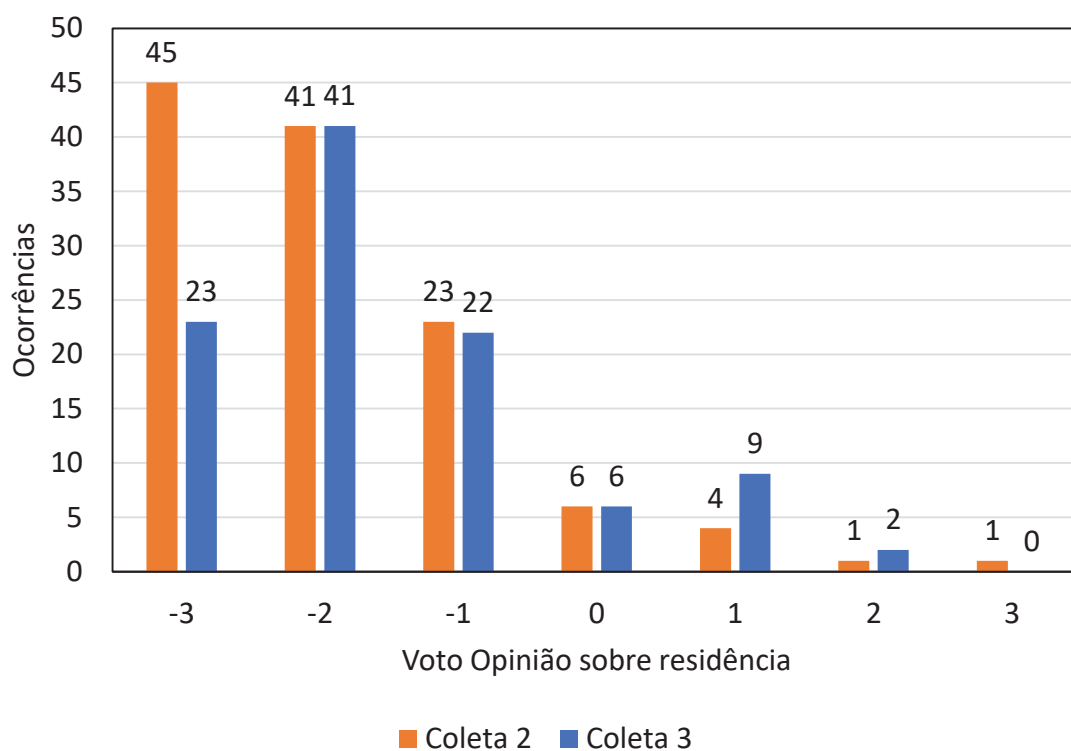
5.1.3.5 Caracterização da residência no inverno

Nas coletas 2 e 3 o questionário foi complementado e foi inserida uma questão sobre como os usuários classificam suas residências no inverno. Foi estabelecida uma escada de 7 pontos de caracterização:

muito fria	-3
fria	-2
levemente fria	-1
Neutra	0
levemente quente	1
quente	2
muito quente	3

As respostas a esta questão resultam que 30,36% dos respondentes consideram suas residências muito fria no inverno. Outros 36,61% consideram-nas frias. Para 20,09% voto foi para levemente fria. Já 5,36% disseram que a residência é neutra. Enquanto que 5,80% consideram que suas habitações são levemente quentes. O voto para “quente” ou “muito quente” é inexpressivo, receberam 1,34% e 0,004% respectivamente (FIGURA 46).

FIGURA 46 - VOTOS OPINIÃO CARACTERÍSTICA DA RESIDÊNCIA NO INVERNO – ETAPA 1



FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: -3=muito fria; -2=fria; -1; levemente fria, 0=neutra; 1=levemente quente; 2=quente; 3=muito quente

A média registrada de -1,75 demonstra que os respondentes consideram suas residências frias no contexto de inverno (Tabela 11).

TABELA 11 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTOS OPINIÃO CARACTERÍSTICA DA RESIDÊNCIA NO INVERNO – ETAPA 1

Indicador	Valor
Média	-1,75
Mediana	-2
Modo	-2
Desvio padrão	1,23
Variância da amostra	1,51
Curtose	1,27
Assimetria	1,17

FONTE: O autor (2021).

Em resumo, os resultados coletados na primeira etapa apontam para um contexto no qual os participantes se mostram predominantemente insatisfeitos quanto ao desempenho térmico de suas moradias.

5.2 SEGUNDA ETAPA

Esta etapa concretizou-se com a coleta de dados ambientais externos e internos dos apartamentos no período compreendido entre os dias 22 de abril e 14 de junho de 2022, relacionados com as respostas aos questionários realizadas pelos voluntários. Cada um dos respondentes preencheu os questionários pelo menos por uma semana.

5.2.1 *Hipótese da umidade relativa*

Uma das hipóteses centrais desta pesquisa é a de que os sensores de umidade relativa no interior das edificações são dispensáveis, uma vez que os valores dessa variável poderiam ser calculados a partir de dados do ambiente externo (umidade absoluta, em g/kg, e da pressão de ar seco) e da temperatura do ar no ambiente interno.

Para o cálculo da umidade relativa foram utilizados dois métodos: da ASHRAE e de Antoine.

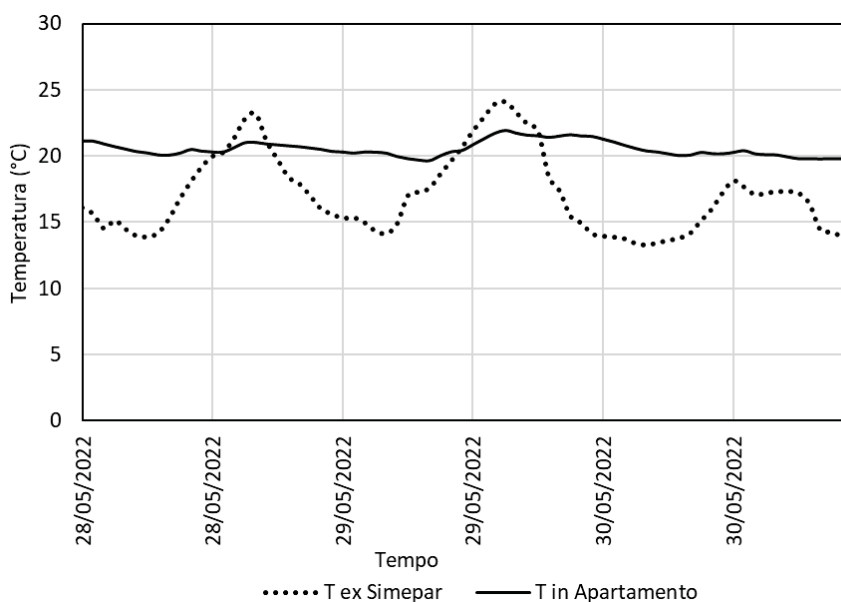
5.2.1.1 Dados internos medidos no local e dados externos do SIMEPAR

Nesta etapa, a partir de dados dos ambientes externo e interno, foram estimados valores para a umidade relativa do ambiente interno. Estes valores foram então comparados com os dados medidos.

Para a hipótese testada, assumiu-se que os valores da umidade absoluta (g/kg) seriam os mesmos nos ambientes externo e interno. A partir do valor da umidade absoluta, seria possível estimar os valores da umidade relativa do ambiente interno tendo em mãos os valores da temperatura do ar. A título de contextualização, a FIGURA 47 apresenta os valores da

temperatura do ar nos ambientes externo e interno nos dias para os quais foi realizada a estimativa da umidade relativa para o interior do apartamento.

FIGURA 47 - TEMPERATURA INTERNA E EXTERNA DO AR.



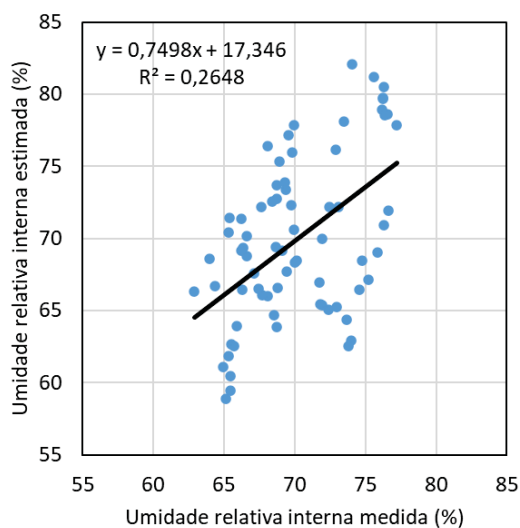
FONTE: O autor (2022).

Realizadas as estimativas, os dados estimados foram comparados com os dados medidos. Para isso, foram medidos o grau de correlação (FIGURA 48) entre os dados medidos e os estimados e as diferenças entre eles (FIGURA 49).

Em se tratando da correlação entre os dados medidos e estimados, obteve-se um valor baixo (R^2 0,26), apontando para a refutação da hipótese. No entanto, tendo em conta que o valor da correlação é influenciado pelo tamanho da amostra (que no caso em questão é pequeno), deve-se ter cuidado na sua análise, sendo necessário considerá-lo conjuntamente com as diferenças entre os valores dos dados medidos e estimados. Quanto estes são analisados (FIGURA 49), observa-se que elas não são altas. Ou seja, é possível realizar estimativas dos valores da umidade relativa de ambientes internos com alguma precisão. No entanto, o nível de precisão obtido, com diferenças de até 11%, não é adequado para geração de dados para pesquisas sobre percepção térmica, uma vez que variações dessa ordem na umidade relativa (como, por exemplo, de 70% para 81%) afetam demasiadamente a percepção dos usuários. Ou

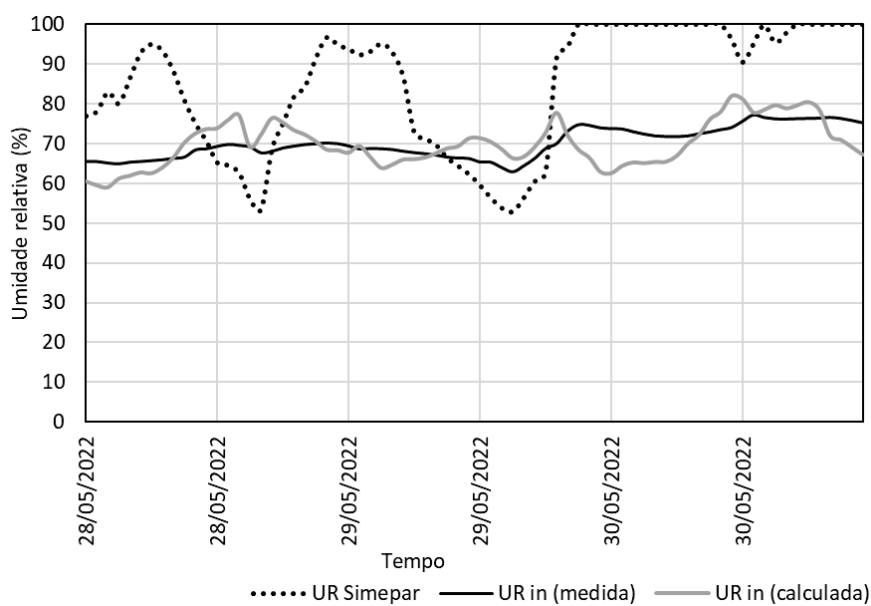
seja, considerando-se esta primeira etapa, a aplicação do método não é recomendada para os objetivos desta pesquisa.

FIGURA 48 - DADOS MEDIDOS X DADOS ESTIMADOS
PARA A UMIDADE RELATIVA DO AR.



FONTE: O autor (2022).

FIGURA 49 - DIFERENÇAS ENTRE OS DADOS MEDIDOS E ESTIMADOS
PARA A UMIDADE RELATIVA DO AMBIENTE INTERNO.



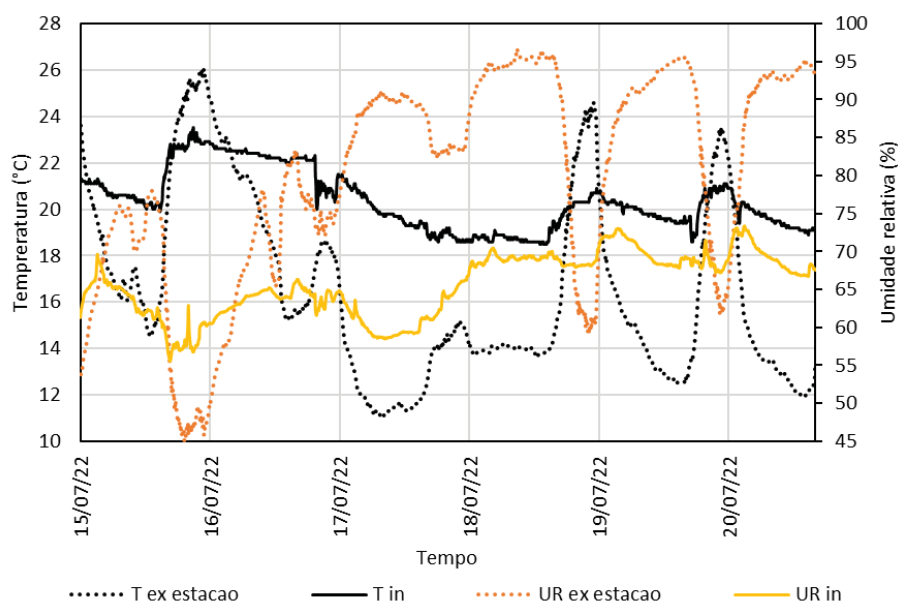
FONTE: O autor (2022).

Com o objetivo de testar mais intensamente a hipótese, uma nova rodada de testes, com nova coleta de dados, foi realizada.

5.2.1.2 Dados internos e externos medidos com sensores instalados pelo pesquisador

A título de contextualização, a FIGURA 50 apresenta dados da temperatura e da umidade relativa medidos na estação meteorológica do Centro Politécnico e no Apartamento 1 a cada 5 minutos, utilizando-se *dataloggers* da marca Elitech, modelo RH-4C. Percebe-se que, contrastando com o ambiente externo, no interior da edificação tanto a temperatura quanto a umidade relativa apresentaram valores relativamente estáveis nos seis dias de monitoramento.

FIGURA 50 - TEMPERATURAS E UMIDADE RELATIVA NOS AMBIENTES EXTERNO E INTERNO.

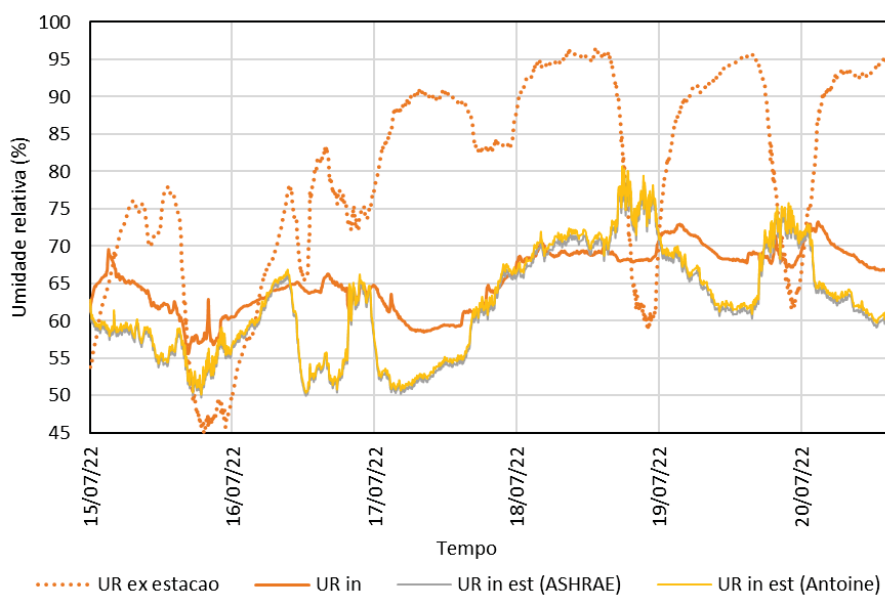


FONTE: O autor (2022).

A FIGURA 51 apresenta a umidade relativa medida no ambiente externo e a umidade relativa medida e estimada por dois métodos para o ambiente interno. Primeiramente, percebe-se que as estimativas com os dois métodos (ASHRAE e Antonie) acabaram resultando em valores muito parecidos. Por outro lado, comparando os dados medidos para o ambiente interno com os dados estimados, percebe-se que, embora as estimativas tenham sido bastante precisas em alguns momentos e retornaram valores relativamente estáveis (como aconteceu com os

dados medidos), em outros momentos ocorreram diferenças importantes em relação aos dados medidos (de até 14,32%).

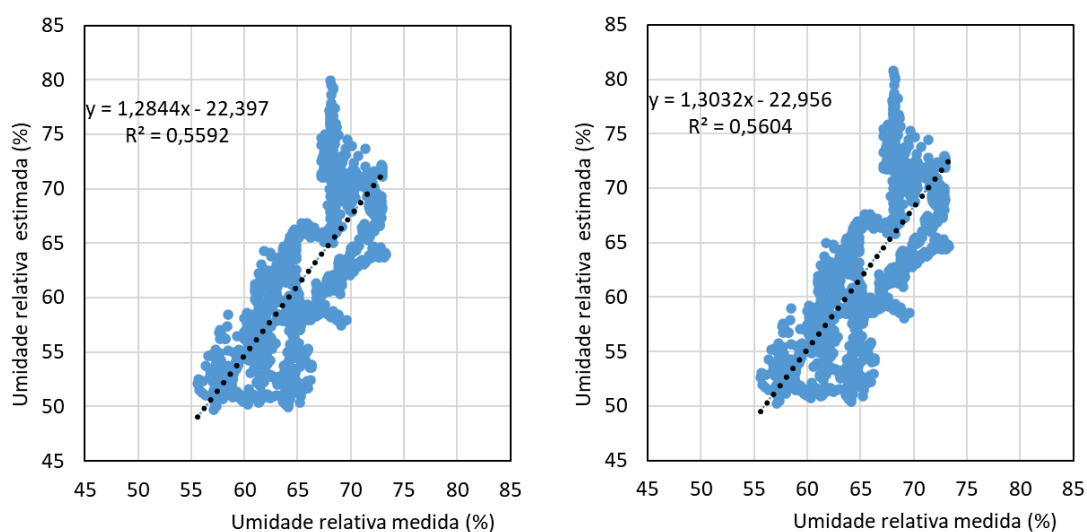
FIGURA 51 - UMIDADE RELATIVA MEDIDA INTERNA E EXTERNAMENTE AO APARTAMENTO E UMIDADE RELATIVA ESTIMADA PARA SEU INTERIOR (PELO MÉTODO DA ASHRAE E PELO MÉTODO DE ANTOINE).



FONTE: O autor (2022).

Em se tratando da correlação entre dados medidos e estimados, nos dois casos (Método ASHRAE e Método Antoine), os resultados apresentaram baixa correlação com os dados medidos.

FIGURA 52 – CORRELAÇÃO ENTRE DADOS ESTIMADOS E MEDIDOS A PARTIR DOS MÉTODOS ASHRAE (A) E ANTOINE (B).



FONTE: O autor (2022).

Considerando estimativas para 1633 momentos diferentes, a análise estatística das diferenças (TABELA 12) entre os dados medidos e estimados para a umidade relativa segundo o método de Antonie aponta para uma diferença média de 3,06%, um desvio padrão de 0,12% e uma diferença máxima de até 14,32%. Trata-se de uma precisão razoável, mas não suficiente quando a ideia é substituir os valores medidos da umidade relativa por valores estimados com foco em pesquisas sobre percepção térmica.

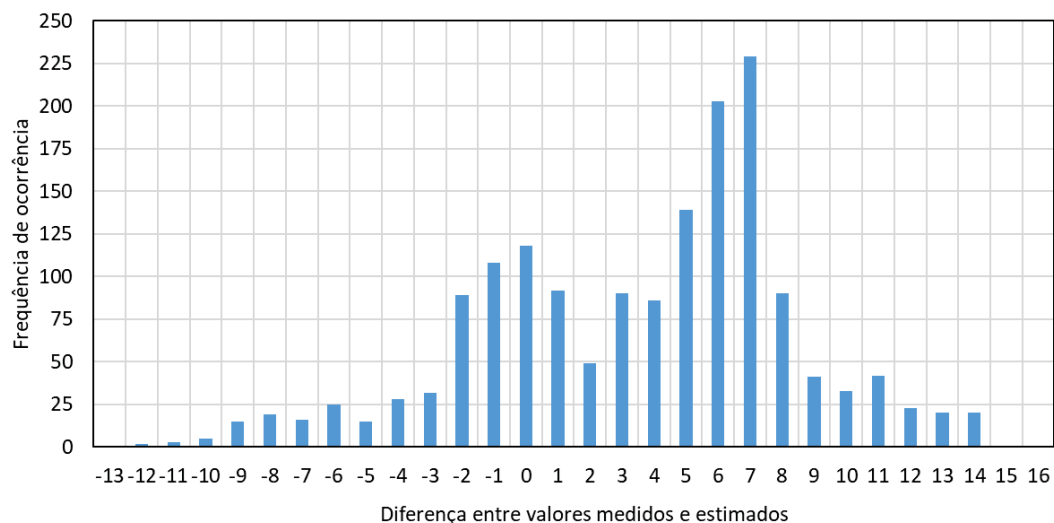
TABELA 12 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS DIFERENÇAS ENTRE OS DADOS MEDIDOS E ESTIMADOS PARA A UMIDADE RELATIVA SEGUNDO O MÉTODO DE ANTOINE.

Indicador	Valor
Média	3,06
Erro padrão	0,12
Mediana	4,25
Modo	5,69
Desvio padrão	4,86
Variância da amostra	23,65
Curtose	-0,03
Assimetria	-0,45
Intervalo	27,00
Mínimo	-12,68
Máximo	14,32
Soma	4993,79
Contagem	1633

FONTE: O autor (2022).

Observando o histograma das diferenças entre os valores medidos e estimados para a umidade relativa no interior do apartamento monitorado, percebe-se que os valores das diferenças se concentram principalmente entre -2 e +8. Embora se possa dizer que o método apresenta uma precisão considerável, ela ultrapassa.

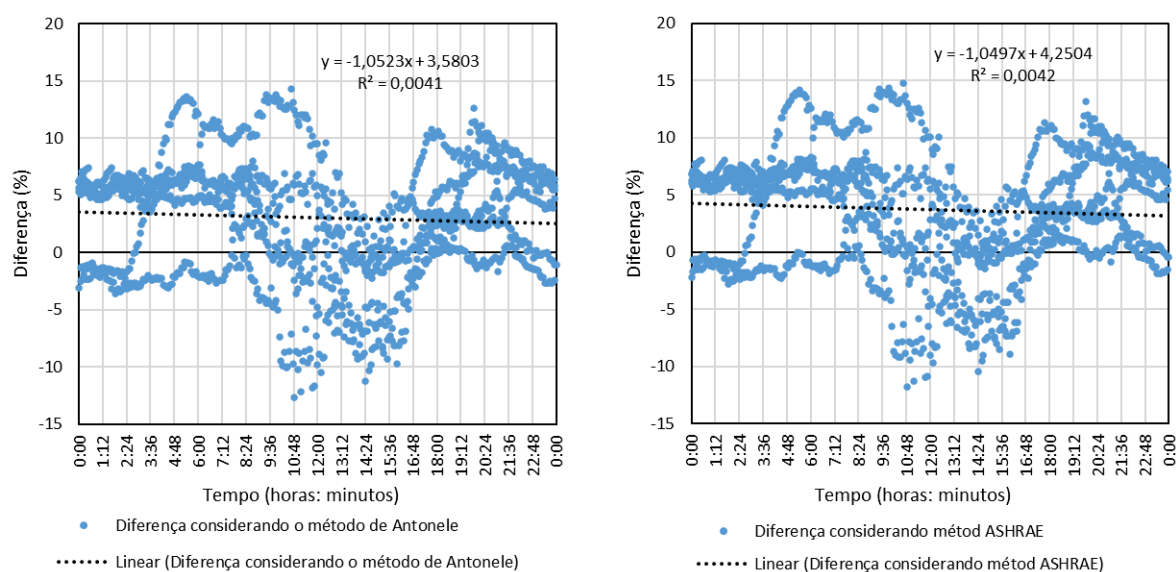
FIGURA 53 – DIFERENÇAS ENTRE OS VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS PARA A UMIDADE RELATIVA NO INTERIOR DO APARTAMENTO MONITORADO.



FONTE: O autor (2022).

A fim de compreender as diferenças observadas entre os dados estimados e medidos, as diferenças foram plotadas relativamente aos horários. No entanto, observando as plotagens, não foram verificadas correlações significativas. Ou seja, não há relação entre as diferenças entre as umidades relativas estimadas e medidas com os horários do dia para os quais foram feitas as estimativas.

FIGURA 54 – DIFERENÇAS ENTRE DADOS ESTIMADOS E MEDIDOS UTILIZANDO OS MÉTODOS PARA ESTIMATIVA ASHRAE E ANTOINE.



FONTE: O autor (2022).

Por fim, desta etapa, concluiu-se que a hipótese de que seria possível estimar a umidade relativa com alta precisão, dispensando assim o monitoramento *in loco*, não é válida. Não foi possível estimar a umidade relativa com a precisão desejada (diferenças de até 5% nos valores da umidade relativa).

No momento, o autor não dispõe de meios para explicar as diferenças observadas entre os dados medidos e estimados. Entre as possíveis causas das diferenças, cita-se: a possibilidade de que os componentes da edificação (paredes, pisos e esquadrias) e objetos no seu interior absorvam e liberem umidade de maneira que interfiram nas estimativas. Por exemplo, durante algumas horas nas quais a umidade relativa externa e interna esteve muito alta, a edificação pode ter seus elementos e objetos internos saturados. Quando a umidade relativa diminui, a edificação e seus objetos liberam umidade para o ar, fazendo com que a umidade relativa no interior da edificação permaneça um pouco mais alta do que a umidade relativa no ambiente externo. Outra possibilidade é a de que as equações não sejam suficientemente precisas para calcular com exatidão os fenômenos naturais. Uma terceira possibilidade é a combinação das duas possibilidades descritas anteriormente.

Como resultado da não comprovação da hipótese, resta afirmar que, quando a pesquisa sobre percepção térmica envolve a variável umidade relativa, além do monitoramento dessa variável no ambiente externo, deve-se realizar monitoramento também no ambiente interno.

5.2.2 *Perfil dos respondentes*

Nesta fase participaram 11 respondentes, sendo 7 mulheres e 4 homens. No total foram respondidos 127 questionários. Deste montante consideraram-se válidos 124 questionários, sendo 3 descartados por verificar-se que um participante registrou respostas com intervalo de um minuto entre as mesmas.

TABELA 13 – PERFIL DOS RESPONDENTES – ETAPA 2

Respondente	Sexo biológico	Idade	Altura	Peso	IMC
M1	Masculino	48	1,80	71	21,91
M2	Masculino	18	1,86	70	20,23
F1	Feminino	32	1,55	52	21,64
F2	Feminino	51	1,60	55	21,48
F3	Feminino	46	1,78	65	20,52
M3	Masculino	46	1,88	95	26,88
F4	Feminino	40	1,70	62	21,45
F5	Feminino	60	1,64	60	22,31
F6	Feminino	42	1,68	55	19,49
M4	Masculino	41	1,75	62	20,24
F7	Feminino	65	1,62	70	26,67

FONTE: O autor (2022).

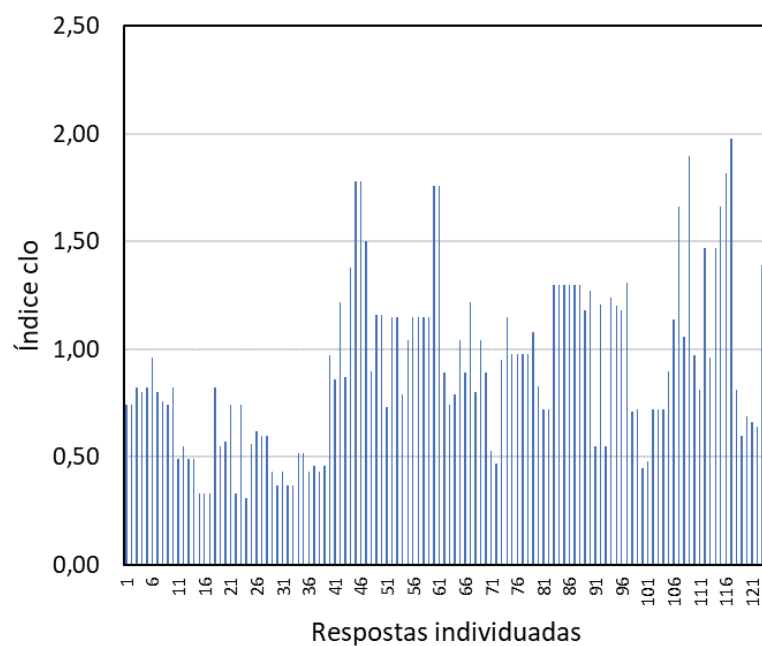
A idade média dos homens respondentes foi 38,3 anos e a das mulheres foi 48 anos. A idade média geral foi de 43,1 anos. O voluntário mais jovem possuía 18 anos e o mais velho 65 anos de idade.

Todos os respondentes foram orientados a responder o questionário após 30 minutos no ambiente onde o módulo de monitoramento realizava os registros. A orientação também foi dada para que a resposta ao questionário fosse feita em posição sentada. Desse modo a taxa metabólica geral utilizada foi de 1 met, ou 60 w/m², segundo parâmetros da ASHRAE 55(2020).

5.2.3 *Nível de isolamento térmico da vestimenta (clo)*

O nível de isolamento térmico da vestimenta (clo) foi definido em base às respostas registradas pelos respondentes. Os índices tiveram variação entre 0,31 e 1,98 clo. A média registrada foi de 0,91 clo.

FIGURA 55 – ÍNDICE CLO – ETAPA 2



FONTE: O autor (2022).

TABELA 14 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA –ÍNDICE CLO – ETAPA 2

Indicador	Valor
Média	0,91
Mediana	0,82
Modo	1,15
Desvio padrão	0,39
Variância da amostra	0,15
Curtose	-0,08
Assimetria	0,63

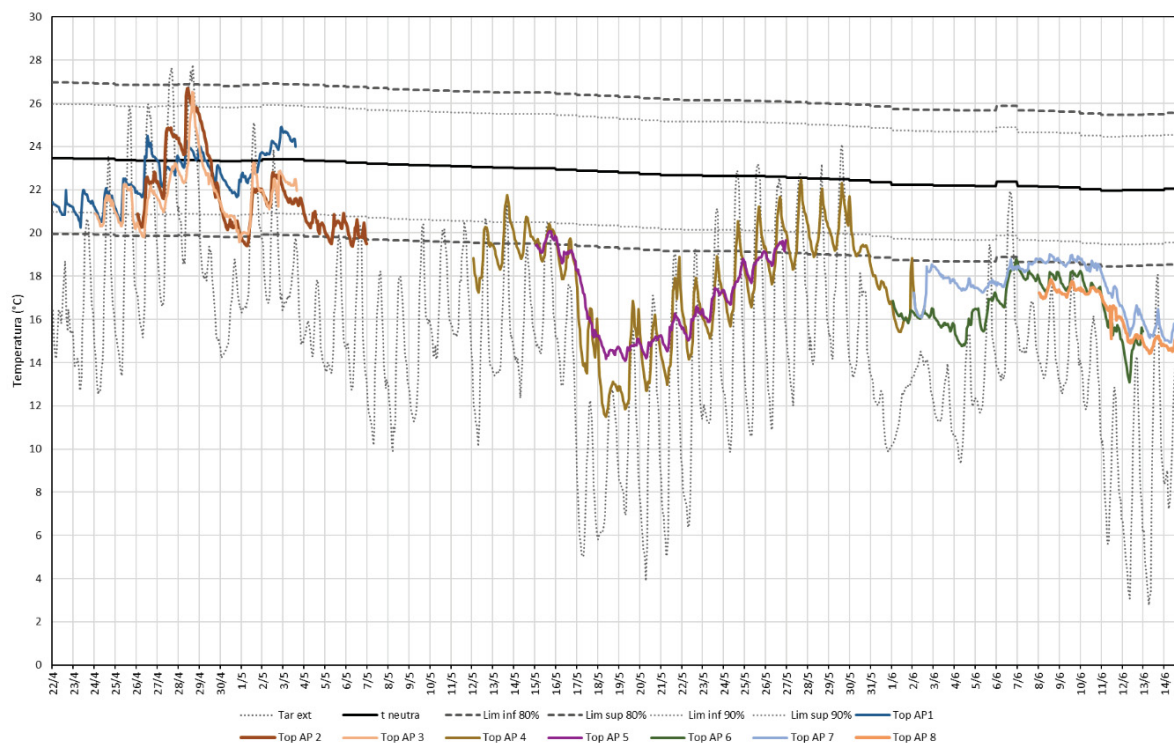
FONTE: O autor (2022).

5.2.4 Variáveis ambientais

O período monitorado foi de frio moderado, com temperaturas externas médias de 14,97°C. Tendo registro de 27,78°C como máxima e mínima de 2,78°C. Apenas 10,90% dos registros demarcam temperaturas externas abaixo dos 10°C.

Conforme se nota na figura 56, as temperaturas externas mantiveram-se 86,08% do período abaixo da faixa de conforto, 0,70% acima. E somente 13,22% dentro do intervalo de conforto.

FIGURA 56 – TEMPERATURAS – ETAPA 2



FONTE: O autor (2022).

Em relação às temperaturas internas dos apartamentos, verifica-se que apenas no primeiro período de monitoramento as unidades se mantiveram majoritariamente dentro da faixa de conforto (apartamentos 1, 2 e 3). Esse fato coincide com o período de temperaturas externas mais brandas.

TABELA 15 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA – TEMPERATURAS EXTERNAS E TEMPERATURAS OPERATIVAS – ETAPA 2

	T ext	Top AP1	Top AP2	Top AP3	Top AP4	Top AP5	Top AP6	Top AP7	Top AP8
Média	14,97	22,57	21,78	21,78	17,62	16,87	16,60	17,53	16,20
Erro padrão	0,12	0,07	0,11	0,08	0,11	0,11	0,07	0,07	0,09
Mediana	14,78	22,57	21,45	21,80	18,04	16,59	16,45	17,74	16,52
Modo	14,28	20,83	#N/D	22,00	19,32	14,38	15,84	18,45	17,00
Desvio padrão	4,38	1,14	1,80	1,26	2,52	1,85	1,18	1,14	1,14
Variância da amostra	19,18	1,30	3,25	1,58	6,36	3,42	1,38	1,30	1,29
Curtose	0,35	-0,99	-0,05	1,63	-0,56	-1,46	-0,51	-0,58	-1,69
Assimetria	0,07	0,01	0,91	0,90	-0,50	0,14	-0,29	-0,77	-0,17
Mínimo	2,78	20,24	19,37	19,57	11,51	14,09	13,09	14,93	14,42
Máximo	27,78	24,92	26,69	26,53	22,47	20,07	18,79	19,01	17,84
Contagem	1293,0	279,0	263,0	231,0	518,0	287,0	287,0	300,0	164,0

FONTE: O autor (2022).

Quando individuados os dados do exato momento das respostas aos questionários temos que a temperatura operativa interna média foi de 19,06°C. Tendo o registro de 14,20°C como mínimo e 26,80°C como máximo (TABELA 16).

Por outro lado, a média de temperatura externa ficou em 15,05°C, com mínima de 2,78°C e máxima de 28,20°C.

TABELA 16 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NO MOMENTO DAS RESPOSTAS

	Tar	T glo	T rad	T op	T ext
Média	19,17	19,02	18,96	19,06	15,05
Erro padrão	0,26	0,26	0,27	0,26	0,41
Mediana	18,80	18,50	18,37	18,61	14,91
Modo	15,40	15,10	14,96	15,18	11,88
Desvio padrão	2,87	2,93	2,97	2,92	4,60
Variância da amostra	8,26	8,60	8,82	8,51	21,14
Curtose	-0,35	-0,39	-0,41	-0,38	0,68
Assimetria	0,46	0,46	0,46	0,45	0,15
Mínimo	14,19	14,20	14,20	14,20	2,78
Máximo	26,80	26,80	26,80	26,8	28,20

FONTE: O autor (2022).

Comparativamente os apartamentos 01, 02, 03 tiveram melhores médias de temperaturas internas. Os demais apartamentos tiveram médias mais baixas, coincidindo com período com temperaturas externas mais baixas, vide Tabela 17.

TABELA 17 - VARIÁVEIS INTERNAS NO MOMENTO DAS RESPOSTAS.

	Tar mín	Tar média	Tar máx	Tglobo mín	Tglobo média	Tglobo máx	UR mín	UR média	UR máx
AP 01	20,5	22,7	26,8	20,5	22,6	26,8	70,7	78,9	84,0
AP 02	20,1	22,4	24,9	19,6	22,3	24,8	60,9*	67,7*	74,1*
AP 03	21,2	22,2	22,7	20,9	22,1	22,9	70,2*	74,2*	77,7*
AP 04	14,2	18,6	22,5	14,2	18,5	22,6	36,1*	59,0*	88,4*
AP 05	14,9	17,2	20,0	14,6	16,9	19,5	35,2*	57,8*	72,2*
AP 06	14,6	16,9	18,9	14,4	16,7	18,6	51,2	78,1	85,9
AP 07	15,3	17,9	19,2	15,1	17,8	19,1	29,8*	63,4*	83,6*
AP 08	14,9	16,3	17,7	14,7	16,2	17,7	29,7*	54,5*	77,5*

Fonte: O autor (2022).

Legenda: * = Umidade relativa calculada, ver item 5.2.1.

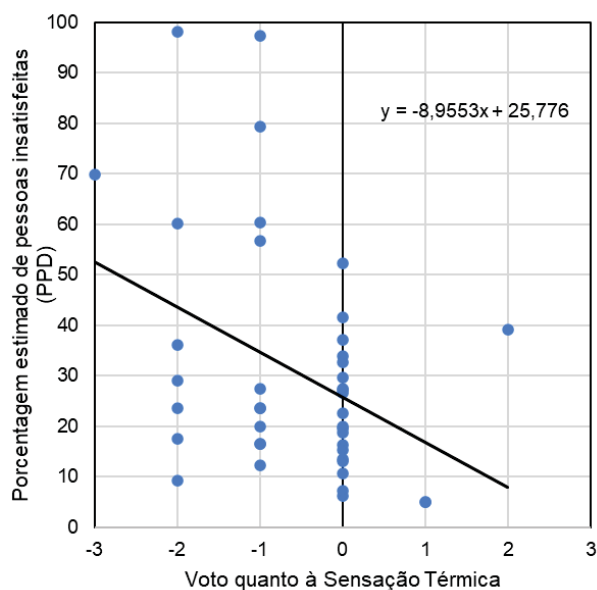
Um ponto importante a salientar é que somente os apartamentos 01 e 02 tiveram a umidade relativa registrada por *datalogger* e pelo Medidor de Estresse térmico. Devido às limitações de equipamentos as demais unidades tiveram essa variável calculada. A questão sobre a Umidade Relativa calculada é discutida no 5.2.1 deste trabalho.

5.2.5 Análise considerando a perspectiva do modelo de Fanger

Nesta análise foram considerados os dados de apenas dois dos apartamentos nos quais ocorreram aplicações dos questionários (Apartamento 1 e Apartamento 6).

Conforme apresentado na FIGURA 57, a maior parte dos votos sobre a sensação térmica se situaram na linha neutra (valor zero) ou à esquerda desta, indicando sensação de frio. Quando plotada a linha de tendência, esta indica o aumento no número de pessoas com insatisfação, concordando com o modelo PPD. No entanto, o número de dados (42 respostas, 33,9% do total de questionários) e sua dispersão impede a validação do modelo PPD. Há carência de dados especialmente no contexto de verão.

FIGURA 57 - VOTOS QUANTO À SENSACÃO TÉRMICA *VERSUS* PERCENTUAL ESTIMADO DE PESSOAS INSATISFEITAS.

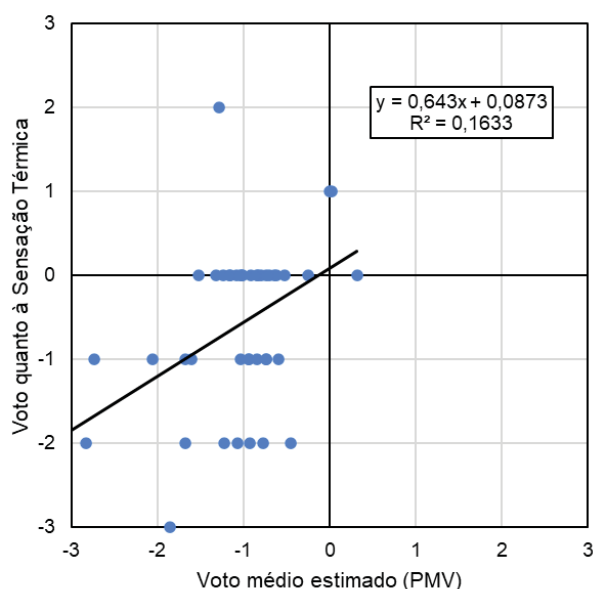


FONTE: O autor (2022).

Quando os votos quanto à sensação térmica são confrontados com os votos médios estimados (PMV) (FIGURA 58), percebe-se que o PMV superestima a sensação de frio. Os votos declarados pelos participantes resultaram em valores não tão distantes de zero quanto o modelo PMV previu. Ou seja, os participantes foram mais tolerantes com as temperaturas relativamente baixas do que o esperado.

A ausência de respostas no contexto de verão impede que sejam feitas observações sobre esse período.

FIGURA 58 - VOTOS QUANTO À SENSACÃO TÉRMICA *VERSUS* VOTO MÉDIO ESTIMADO (PMV).



FONTE: O autor (2022).

5.2.6 *Análise considerando a perspectiva do modelo adaptativo*

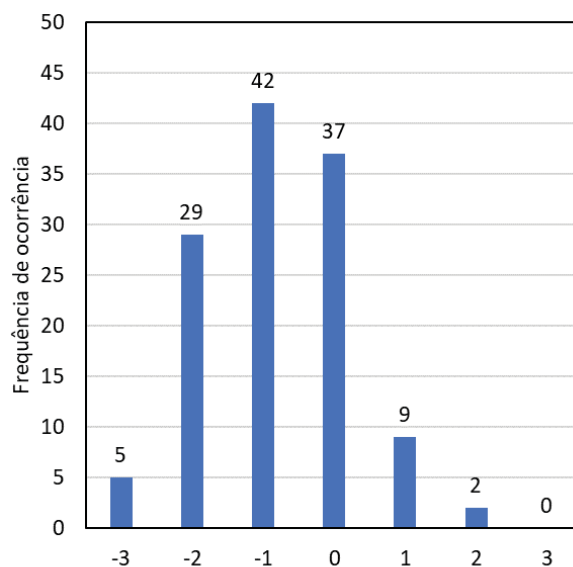
Nesta seção foram registrados os votos dos respondentes quando à sensação térmica, conforto térmico, preferência térmica e de movimento de ar, bem como outros fatores de desconforto no ambiente.

5.2.6.1 Sensação térmica

A tendência de votos indica que os respondentes sentiam frio no ambiente (61,29%), média de -0,82, concentrando votos na sensação de levemente frio e frio. O voto mais frequente

foi levemente frio (-1). Entretanto um número expressivo de votos foi pela neutralidade da sensação térmica (37 votos).

FIGURA 59 – VOTOS SENSACÃO TÉRMICA – ETAPA 2



FONTE: O autor (2022).

LEGENDA: -3=muito frio; -2=frio; -1=levemente frio; 0=neutro;
1=levemente quente; 2=quente; 3=muito quente

TABELA 18 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTO SENSACÃO TÉRMICA – ETAPA 2

Indicador	Valor
Média	-0,82
Mediana	-1
Modo	-1
Desvio padrão	1,05
Variância da amostra	1,11
Curtose	-0,21
Assimetria	0,15

FONTE: O autor (2022).

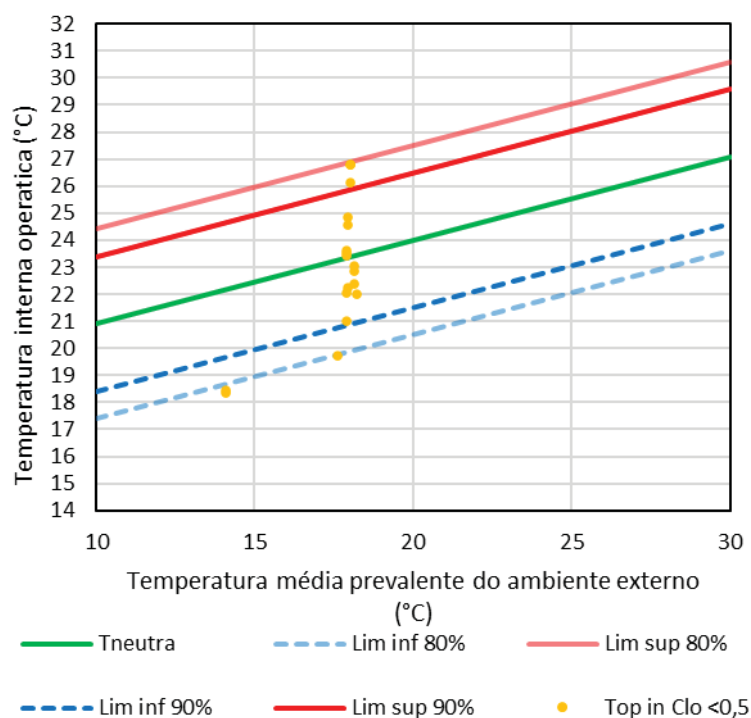
Os votos relativos à sensação térmica são apresentados a seguir divididos em três categorias segundo o nível de isolamento térmico das vestimentas (Clo): menor do que 0,5 clo (FIGURA 60); maior ou igual a 0,5 e menor ou igual a 1,0 clo (FIGURA 61); maior do que 1,0 clo (FIGURA 63). Essa distinção ocorreu em função do fato de que o modelo adaptativo da

ASHRAE (2020) ser específico para usuários com vestimentas resultando em índices de isolamento entre 0,5 e 1,0 Clo.

Quando observados os dados dos participantes com índice de vestimentas menor do que 0,5 Clo, computaram-se 18 questionários (FIGURA 60). Observou-se que a maior parte dos votos satisfatórios ocorreu quando as temperaturas operativas internas se encontravam dentro do intervalo de temperaturas recomendado pela ASHRAE (2020) para pessoas com vestimentas com Clo de 0,5 até 1,0 (roupas mais isolantes). Ou seja, os participantes consideraram adequadas condições ambientais nas quais, a princípio, esperava-se que parte importante das respostas indicasse que sentissem frio: média móvel das temperaturas externas igual a 17,5 °C, temperatura neutra igual a 23,2 °C, limite inferior do intervalo igual a 20,7 °C (para 90% de aceitabilidade) e limite superior do intervalo igual a 25,7 °C.

Esse resultado chamou a atenção e não está isolado. De Vecchi *et al.* (2015), em pesquisas sobre percepção térmica em Florianópolis/SC e Belém/PA considerando participantes com vestimentas com clo entre 0,22 e 0,89, também observaram maior tolerância ao frio do que a predita pelo modelo adaptativo da ASHRAE.

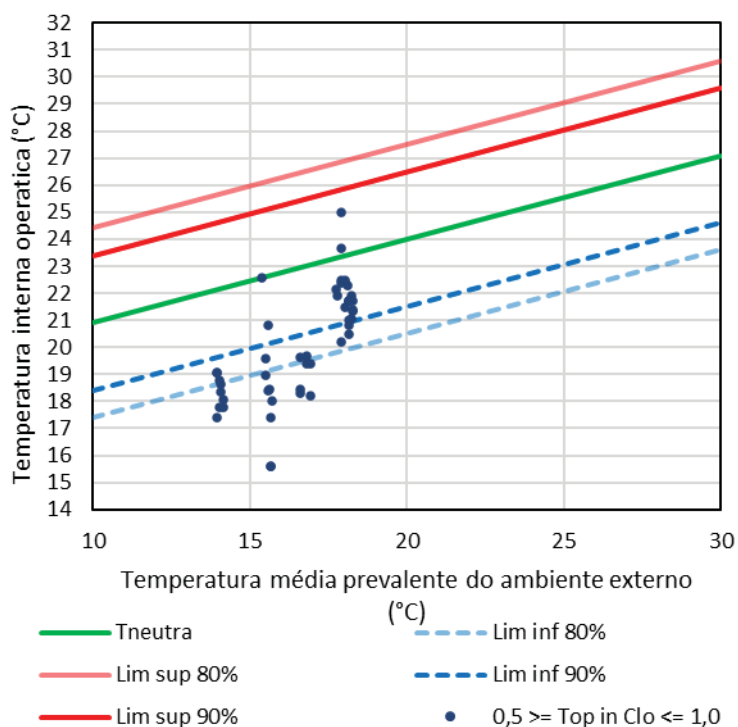
FIGURA 60 – DADOS COM ÍNDICE CLO <0,5



FONTE: O autor (2022).

Em seguida (FIGURA 61), analisou-se os resultados dos participantes com vestimentas resultando em isolamento de 0,5 até 1,0 Clo (48 questionários). Tomando como referência a média das médias móveis das temperaturas externas quando da aplicação dos questionários, 16,6 °C, a temperatura operativa neutra para ambientes internos para o período foi de aproximadamente 22,9 °C e os limites do intervalo recomendado foram 20,4 °C e 25,4 °C (para 90% de aceitabilidade).

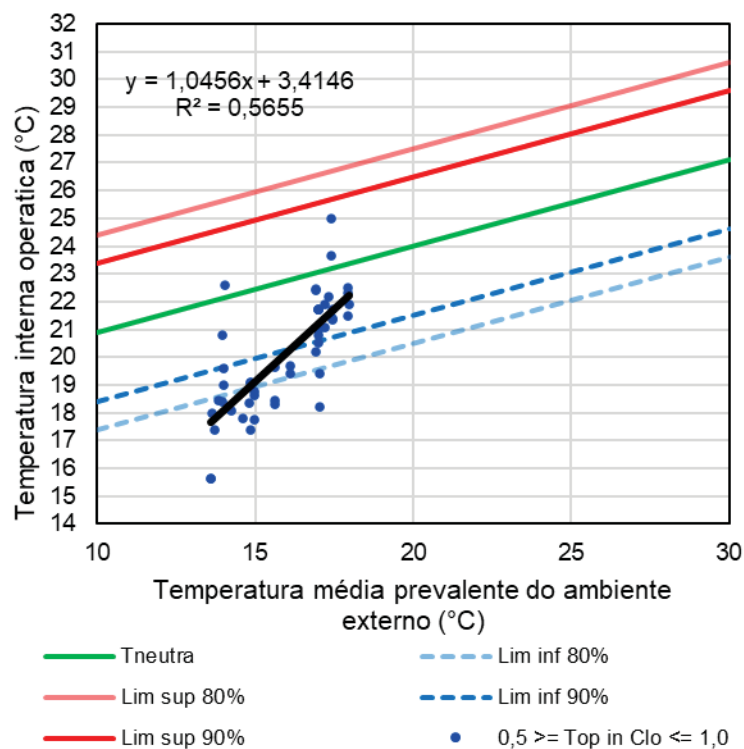
Observou-se que a maior parte dos votos satisfatórios quanto à sensação térmica ocorreu para temperaturas abaixo da temperatura neutra para o instante da aplicação. Inclusive, parte desses votos (27, ou 56%) ocorreu em temperaturas operativas abaixo do intervalo recomendado pela ASHRAE para a aceitabilidade de 90%. Novamente, os resultados corroboram os resultados observados por De Vecchi *et al.* (2015), que apontam para maior tolerância ao frio do que o estimado pelo modelo adaptativo da norma da ASHRAE (2020).

FIGURA 61 - PLOTAGEM DOS DADOS COM ÍNDICE $0,5 \geq \text{CLO} \leq 1,0$ 

FONTE: O autor (2022).

A título de teste, foi plotada uma linha de tendência sobre os dados e extraída a respectiva equação (FIGURA 62). Como é possível observar, o coeficiente angular da reta resultou excessivamente alto, diferindo significativamente do coeficiente da equação da temperatura neutra proposto pela ASHRAE, impossibilitando sua utilização para estimar temperaturas neutras para o interior de edificações. Esse resultado já era esperado em função da pequena amostra de dados e do curto período no qual os questionários foram respondidos.

FIGURA 62 - PLOTAGEM DA LINHA DE TENDÊNCIA SOBRE O CONJUNTO DE DADOS COM ÍNDICE $0,5 \geq \text{CLO} \leq 1,0$

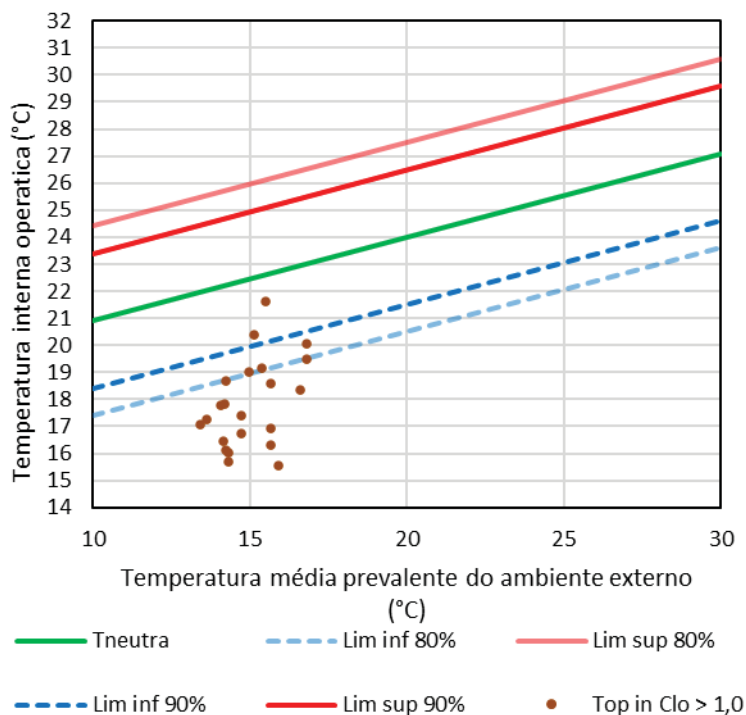


FONTE: O autor (2022).

Por fim, foram analisados os votos dos participantes que no momento da aplicação do questionário manifestaram satisfação térmica e vestiam roupas resultando em índice de vestimenta maior do que 1,0 clo (FIGURA 63). Foram 22 votos manifestando satisfação térmica. Para este grupo de respostas, o índice de vestimenta médio foi 1,29 clo e o maior índice de vestimenta verificado foi de 1,78 clo.

Conforme esperado, quando com vestimentas mais isolantes (FIGURA 63), os respondentes se mostraram tolerantes ao frio, sendo que dos 22 votos, 20 (90%) foram para temperaturas operativas internas abaixo do limite inferior proposto pela ASHRAE quando considerado o limite para aceitabilidade de 90%.

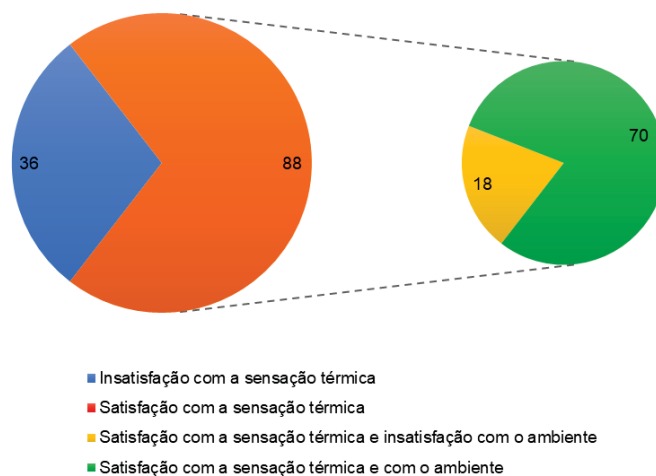
FIGURA 63 - PLOTAGEM DOS DADOS COM ÍNDICE CLO>1,0



FONTE: O autor (2022).

Ainda em se tratando da sensação térmica, dos 124 questionários considerados, 36 das respostas eram de insatisfação com a sensação e 88 de satisfação com a sensação térmica (FIGURA 64). No entanto, dos 88 questionários nos quais ocorreram respostas satisfatórias com a sensação térmica, em 18 (20,5%) ocorreram respostas insatisfatórias em relação ao conforto térmico do ambiente. Ou seja, aparentemente, os respondentes, para obter satisfação térmica recorreram ao aumento do isolamento térmico da vestimenta.

FIGURA 64 - RELAÇÃO ENTRE SATISFAÇÃO TÉRMICA E SATISFAÇÃO COM O CONFORTO TÉRMICO PROPORCIONADO PELO AMBIENTE.



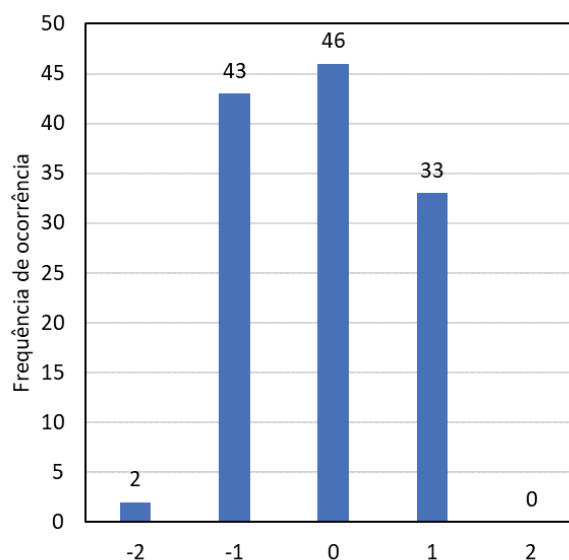
FONTE: O autor (2022).

Se considerados apenas os votos nos momentos em que o nível de isolamento da vestimenta foi maior ou igual a 0,5 e menor ou igual a 1,0 clo, em 12,5% (6 respostas) dos momentos nos quais as respostas indicaram satisfação térmica, também indicaram insatisfação com o ambiente térmico. Se considerados apenas os votos nos quais o nível de isolamento da vestimenta foi maior do que 1,0 clo, em 41% dos momentos nos quais as respostas indicaram satisfação térmica também indicaram insatisfação com o ambiente térmico. Ou seja, a vestimenta teve um papel muito importante para que os usuários pudessem atingir satisfação térmica no período de inverno mesmo no interior das edificações.

5.2.6.2 Conforto térmico

Quando questionados sobre como definiam o conforto término no ambiente os respondentes em sua maioria descreveram o mesmo como neutro ou confortável. Para 26,61% dos usuários o ambiente foi considerado confortável e neutro para 37,10%. Já para 34,68% dos respondentes o ambiente era desconfortável e 1,61% classificaram como muito desconfortável.

FIGURA 65 – VOTO CONFORTO TÉRMICO – ETAPA 2



FONTE: O autor (2022).

LEGENDA: -2=muito desconfortável; -1=desconfortável; 0=neutro;
1=confortável; 2=muito confortável

TABELA 19 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTO CONFORTO TÉRMICO – ETAPA 2

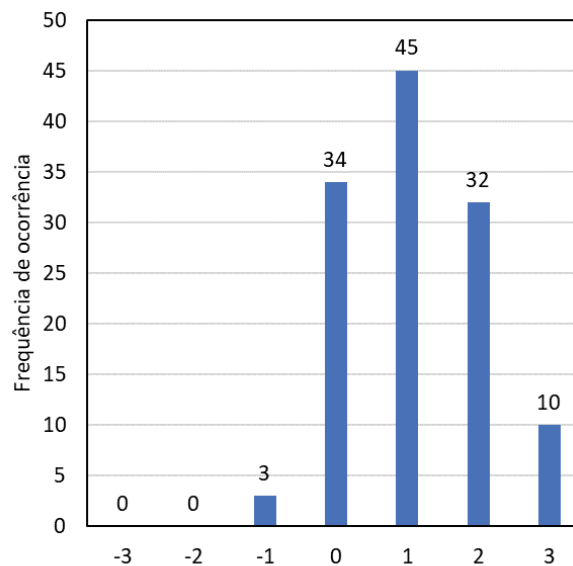
Indicador	Valor
Média	-0,11
Erro padrão	0,07
Mediana	0
Modo	0
Desvio padrão	0,82
Variância da amostra	0,67
Curtose	-1,12
Assimetria	0,03

FONTE: O autor (2022).

5.2.6.3 Preferência térmica

Nas respostas sobre a preferência térmicas nota-se que a maioria dos respondentes prefere um ambiente mais quente. Somando os votos por “pouco mais quente”, “quente” e “bem mais quente” perfazem um percentual de 76,16% da amostragem. Os votos neutros representam 27,42%, enquanto que somente 2,42% dizem preferir um ambiente um pouco mais frio.

FIGURA 66 – VOTO PREFERÊNCIA TÉRMICA – ETAPA 2



FONTE: O autor (2022).

LEGENDA: -3=bem mais frio; -2=mais frio; -1=pouco mais frio; 0=sem mudanças; 1=pouco mais quente; 2=mais quente; 3=bem mais quente.

TABELA 20 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTO PREFERÊNCIA TÉRMICA – ETAPA 2

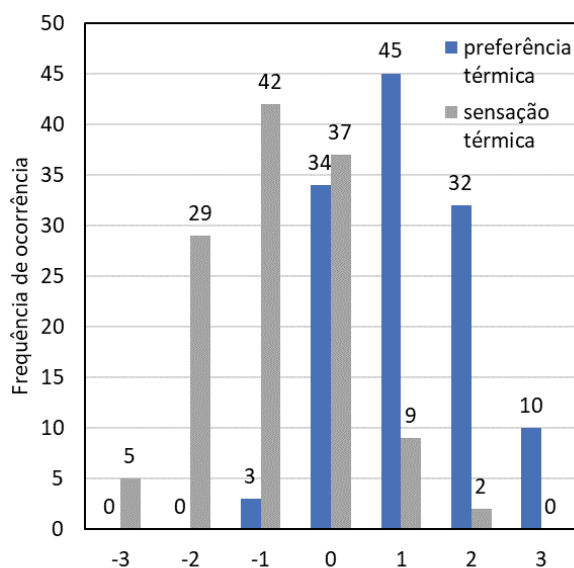
Indicador	Valor
Média	1,10
Erro padrão	0,09
Mediana	1
Modo	1
Desvio padrão	0,97
Variância da amostra	0,95
Curtose	-0,62
Assimetria	0,18

FONTE: O autor (2022).

Quando os votos relativos à preferência térmica são cruzados com os votos relativos à sensação térmica, percebe-se que estes divergem tendo como eixo de divergência o centro do gráfico. Este fato é um indicador da consistência do levantamento, uma vez que quando a

sensação térmica era de frio, havia preferência térmica por um contexto um pouco mais quente (FIGURA 67).

FIGURA 67 – VOTOS RELATIVOS A SENSACÃO TÉRMICA E PREFERÊNCIA TÉRMICA – ETAPA 2.

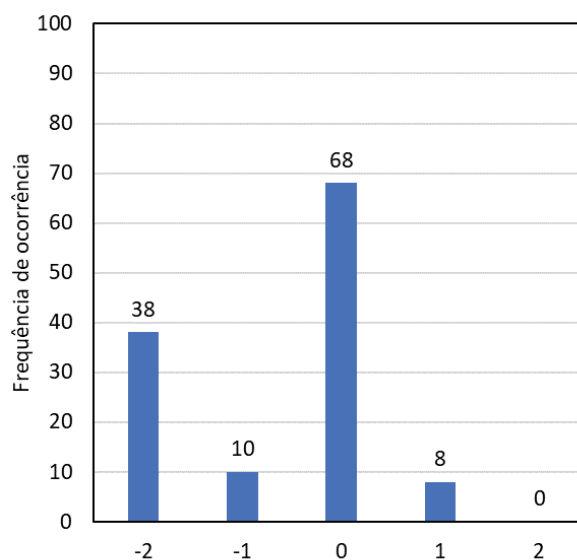


FONTE: O autor (2022).

5.2.6.4 Movimento do ar

Os votos predominantes foram sem movimento de ar (0) e o mesmo (-2), que também pode ser entendido como sem movimento de ar pois se tratavam de ambientes internos no contexto de inverno. Considera-se que esta questão poderia ter sido formulada de outra maneira, pois provavelmente gerou confusão da parte dos respondentes e dificultou a comparação com as respostas dadas para as demais questões.

FIGURA 68 – VOTOS MOVIMENTO DO AR – ETAPA 2



FONTE: O autor (2022).

LEGENDA: -2=sem movimento de ar; -1=um pouco menos de movimento de ar; 0= o mesmo; 1= um pouco mais de movimento de ar; 2= muito mais movimento de ar

TABELA 21 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTO MOVIMENTO DO AR – ETAPA 2

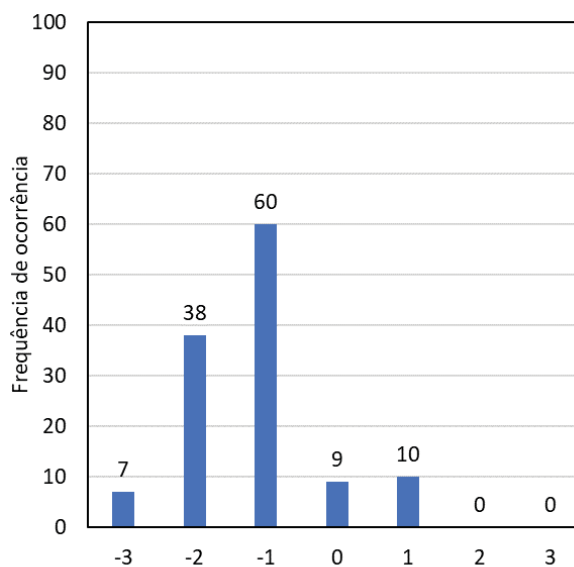
Indicador	Valor
Média	-0,63
Erro padrão	0,09
Mediana	0
Modo	0
Desvio padrão	0,99
Variância da amostra	0,98
Curtose	-1,30
Assimetria	-0,40

FONTE: O autor (2022).

5.2.6.5 Opinião sobre as residências no inverno

Os votos indicam que os participantes consideram que suas moradias são frias (FIGURA 69). Somados, os votos de “levemente fria”, “fria” e “muito fria” perfazem o total de 84,68%. Para 7,26% dos usuários suas residências são consideradas neutras e para 8,06% são consideradas “levemente quente”.

FIGURA 69 - VOTOS OPINIÃO CARACTERÍSTICA DA RESIDÊNCIA NO INVERNO – ETAPA 2



FONTE: O autor (2022)., 2022

LEGENDA: -3=muito fria; -2=fria; -1; levemente fria, 0=neutra; 1=levemente quente;
2=quente; 3=muito quente

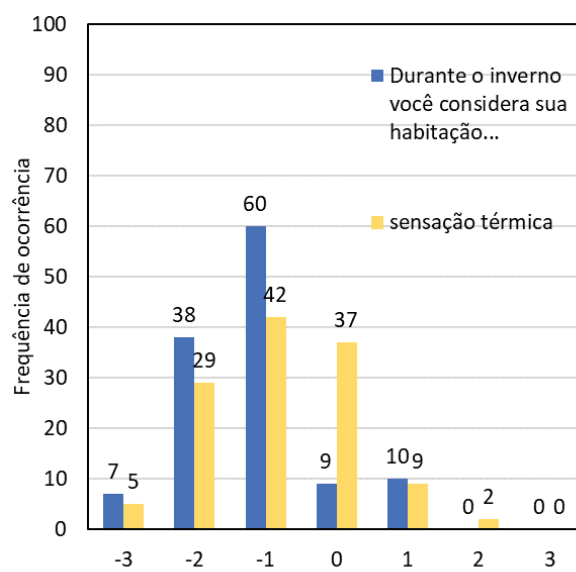
TABELA 22 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA – VOTOS OPINIÃO CARACTERÍSTICA DA RESIDÊNCIA NO INVERNO – ETAPA 2

Indicador	Valor
Média	-1,19
Mediana	-1
Modo	-1
Desvio padrão	0,95
Variância da amostra	0,90
Curtose	0,49
Assimetria	0,56

FONTE: O autor (2022).

O cruzamento com os votos sobre sensação térmica mostra coerência, indicando que a avaliação das edificações concorda com os votos sobre sensação térmica (FIGURA 70).

FIGURA 70 – VOTOS SENSAÇÃO TÉRMICA E OPINIÃO CARACTERÍSTICA DA RESIDÊNCIA NO INVERNO – ETAPA 2



FONTE: O autor (2022).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste trabalho foi investigar as preferências térmicas dos usuários de edificações residenciais em Curitiba e sua região metropolitana.

Em termos mais específicos os objetivos também contemplaram comparações dos resultados obtidos com o modelo estático (PMV), e o modelo de conforto adaptativo, considerando que as residências estudadas são naturalmente ventiladas. Também se testou um método de coletas de dados para pesquisa de percepção térmica em habitações.

A metodologia utilizada se baseou em um conjunto de trabalhos precedentes que possuem similaridades com esta pesquisa. Na terceira fase da pesquisa a metodologia comprovou-se válida em termos operacionais e científicos. Dessa forma o experimento pode ser aplicado em escala maior, e com amostragem específica.

A fim de que futuramente possa ser aplicado um experimento com amostragem mais abrangente se desenvolveu e se aperfeiçoou um protocolo de coleta de dados subjetivos dos respondentes e de dados de variáveis ambientais.

Uma das principais conclusões deste trabalho é os moradores de Curitiba e sua região metropolitana reportam desconforto térmico causado por sensações de frio em suas residências.

Observou-se que parte importante dos votos satisfatórios quanto à sensação térmica ocorreu para temperaturas abaixo do limite inferior do intervalo de temperaturas recomendado pelo modelo adaptativo da ASHRAE para a aceitabilidade de 90%. Essa constatação corrobora os resultados observados anteriormente por De Vecchi *et al.* (2015), que apontam para maior tolerância ao frio do que o estimado pelo modelo adaptativo da norma da ASHRAE (2020).

Tecendo comparações entre as respostas subjetivas dos participantes e os modelos estático e adaptativo de conforto térmico presentes na ASHRAE 55 (2021), conclui-se que o modelo estático não estimou adequadamente a porcentagem de insatisfeitos e superestimou as respostas sobre a sensação de frio dos respondentes. Quando analisados sob a ótica do modelo adaptativo, os dados mostram que os usuários toleram temperaturas mais baixas do que a faixa de temperaturas de conforto conforme a ASHRAE 55 (2021). Outro ponto notado é que os usuários se adaptaram às diferenças de temperatura internas nas residências, utilizando ajustes nas vestimentas.

Em se tratando da hipótese de que seria possível estimar a umidade relativa com alta precisão, dispensando assim o monitoramento in loco, concluiu-se que ela não é válida. Não foi possível estimar a umidade relativa com a precisão desejada (observaram-se diferenças maiores do que 5% entre os valores da umidade relativa medida e a umidade relativa estimada). Entre as possíveis causas das diferenças, cita-se: a possibilidade de que os componentes da edificação (paredes, pisos e esquadrias) e objetos no seu interior absorvam e liberem umidade de maneira que interfiram nas estimativas. Por exemplo, durante algumas horas nas quais a umidade relativa externa e interna esteve muito alta, a edificação pode ter seus elementos e objetos internos saturados. Quando a umidade relativa diminui, a edificação e seus objetos liberam umidade para o ar, fazendo com que a umidade relativa no interior da edificação permaneça um pouco mais alta do que a umidade relativa no ambiente externo. Outra possibilidade é a de que as equações não sejam suficientemente precisas para calcular com precisão aos fenômenos naturais. Uma terceira possibilidade é a combinação das duas possibilidades descritas anteriormente. Como resultado da não comprovação da hipótese, resta afirmar que, quando a pesquisa sobre percepção térmica envolve a variável umidade relativa, além do monitoramento dessa variável no ambiente externo, deve-se realizar monitoramento também no ambiente interno.

É necessário que sejam realizados mais estudos de campo sobre o conforto térmico em habitações em Curitiba, com o fim de se expandir a base de dados, e dessa forma construir um modelo de conforto adaptativo de conforto térmico para o clima da cidade.

6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Este trabalho sofreu limitações por causa das medidas sanitárias decorrentes da pandemia de Covid-19. Além disso, e as consequentes reelaborações do experimento, alguns outros fatores limitantes impuseram dificuldades no desenvolver do trabalho. Um importante fator limitante foi a carência de equipamentos de coleta de dados das variantes ambientais internas. Dito isso também é importante salientar a importância de uniformidade de equipamentos, de modo a proporcionar uma padronagem na coleta dos dados.

Outra grande dificuldade para a pesquisa foi a impossibilidade de obter dados de variáveis ambientais externas com frequência mais precisa, mais próximo do momento do registro das respostas ao questionário. Diferentemente dos registros de variáveis internas, que

foram registradas com intervalo de 10 minutos, os dados fornecidos pelo SIMEPAR contemplam apenas as médias horárias.

Não menos importante foi a dificuldade na angariação e convencimento de participação de respondentes na pesquisa.

Por se tratarem de ambientes habitacionais, com rotinas familiares e eventualmente com presença de crianças e animais domésticos, a instalação dos equipamentos de monitoramento geralmente não pode ser feita conforme especificam as normas. Os equipamentos foram instalados de modo a não causar transtornos na vivência diária dos usuários.

6.2 SUGESTÕES A TRABALHOS FUTUROS

Esta pesquisa trouxe como avanço uma análise com dados primários coletados no interior de unidades habitacionais na cidade de Curitiba. Foi elaborado e refinado um protocolo de coleta de dados, que pode ser expandido com uma amostragem mais abrangente. Desta forma o trabalho colabora para ampliar conhecimento na área de estudos sobre percepção térmica em ambientes residenciais, demonstrando limitações e lacunas a serem ainda discutidas.

Concluindo, sugerem-se alguns pontos para trabalhos futuros:

- Elaborar campanha de engajamento de respondentes voluntários com amostragem adequada a faixas etárias e sexo, garantindo uma equiparação no número de indivíduos masculinos e femininos.
- Elaborar dois tipos de questionários: um deles com as questões com dados pessoais do respondente; e outro com as questões sobre vestimenta e a percepção do ambiente térmico. Dessa forma, após o primeiro registro de resposta somente se utilizaria o segundo questionário. Agilizando o processo de registro de respostas;
- Padronizar os equipamentos de coleta de dados de variáveis ambientais internas;
- Dada a impossibilidade de se obter dados mais precisos (com frequência maior de registros, não somente dados horários) das agências oficiais, sugere-se a adoção de dados de estações particulares, com dados validados e confrontados com os equipamentos disponíveis.

- Avaliar a opinião dos respondentes em períodos climáticos distintos.
- Verificar a ocorrência de diferenças entre as temperaturas consideradas pelos moradores como adequadas no período diurno e as consideradas adequadas no período noturno.

Por fim, espera-se que haja continuidade e aprofundamento das pesquisas na área da percepção térmica em habitações em Curitiba, com amostragem adequada e padronização nos levantamentos de dados ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220 - Desempenho térmico de edificações**. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Brasil, Rio de Janeiro, 2005.

_____. **ABNT NBR 15575-4:2013 - Edificações habitacionais – Desempenho**. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas. Brasil, Rio de Janeiro, 2013.

ALFANO, Francesca Romana d’Ambrosio; OLESEN, Bjarne Wilkens; PALELLA, Boris Igor. Povl Ole Fanger’s impact ten years later. **Energy and Buildings**, v.152, p.243-249, 2017.

Al Horr, Y. A.; ARIF, M.; KATAFYGIOTOU, M.; MAZROEI, A.; KAUSHIK, A.K.; ELSARRAG, E. Impact of indoor environmental quality on occupant wellbeing and comfort: A review of the literature. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 5, n.1 p. 1-11., 2016.

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; DE MORAES GONÇALVES, José Leonardo; SPAROVEK, Gerd. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 22, 2014.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2020. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2021.

_____. **ASHRAE Handbook, Fundamentals**, SI Version. Atlanta: ASHRAE, 2021.

ANTONIADOU, Panagiota; PAPADOPOULOS Agis M. Occupants’ thermal comfort: State of the art and the prospects of personalized assessment in office buildings. **Energy and Buildings**, Volume 153, 2017, (p. 136-149).

ATMACA, A.B.; GEDIK, G. Zorer. Determination of thermal comfort of religious buildings by measurement and survey methods: Examples of mosques in a temperate-humid climate. **Journal of Building Engineering**, v. 30, 2020.

AULICIEMS, Andris e SZOKOLAY, Steven V. **THERMAL COMFORT**. PLEA: Passive and Low Energy Architecture International. Brisbane 2007.

BATISTA, Juliana Oliveira. **A arquitetura e seu desempenho térmico no contexto do semi-árido alagoano: Estudos de caso em Santana do Ipanema – Al**. Dissertação de mestrado.

Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC. **Indicadores Imobiliários Nacionais – 4o Trimestre de 2019**. CBIC/SENAI ed. Brasília: CBIC/SENAI, 2020.

CAMARGO, José Rui. **Sistemas de Resfriamento Evaporativo-Adsorativo Aplicados ao Condicionamento de Ar**. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista, 2003.

CHAVES, Victor Leandro Arantes. **Análise de estratégias para melhoria do conforto térmico em salas de aulas**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Goiás, 2016.

CURITIBA, SECRETARIA MUNICIPAL DO URBANISMO - SMU. **Consulta informativa do lote – Indicação fiscal 11.029.021**. Curitiba, 2022.

_____. **Consulta informativa do lote – Indicação fiscal 31.090.023**. Curitiba, 2022.

_____. **Consulta informativa do lote – Indicação fiscal 23.035.015**. Curitiba, 2022.

_____. **Consulta informativa do lote – Indicação fiscal 11.133.030**. Curitiba, 2022.

_____. **Consulta informativa do lote – Indicação fiscal 12.054.014**. Curitiba, 2022.

_____. **Consulta informativa do lote – Indicação fiscal 26.044.003**. Curitiba, 2022.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. De; NETO, P. C. **O vapor d'água na atmosfera: Psicrometria**. Lavras: UFLA - Universidade Federal de Lavras, [s.d.].

DALFOVO, Michael Samir; LANA, Rogério Adilson; SILVEIRA, Amélia. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada**, Blumenau, v.2, n.4, p.01-13, Sem II. 2008

DE DEAR, Richard J.; BRAGER, Gail S.; COOPER, Donna. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference** - Final Report on RP-884. Sydney. 1997.

DE DEAR, Richard J.; BRAGER, Gail S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings:

revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v.34, p.549-561, 2002.

DE DEAR, Richard J. Thermal comfort in practice. **Indoor Air**, v. 14, n. s7, p. 32–39, 2004.

DE VECCHI, Renata; SORGATO, Márcio José; PACHECO, Miguel; Cândido, Christhina; LAMBERTS, Roberto. ASHRAE 55 adaptive model application in hot and humid climates: the Brazilian case, **Architectural Science Review**, 58:1, 93-101, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA - **Clima**. 2019. Disponível em: <<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Nota Técnica EPE 030/2018 - Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2018.

_____. **Balço Energético Nacional 2021: Ano base 2020**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2021.

ERMENEGILDO, Ivo Marcelo. **Aplicação da análise de modos e efeitos de falha – FMEA – para avaliação de situações de riscos no projeto de prevenção de incêndio da Casa do Estudante Universitário (CEU-PR)**. Monografia de especialização, Universidade Tecnológica do Paraná, 2014.

ERMENEGILDO, Ivo Marcelo; JAKUBIAK JR, João Carlos. **Reforma Casa do Estudante Universitário**. Curitiba, 2017. Projeto de prevenção de incêndio, em oito pranchas. Arquivos em formato pdf.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - CEN. **EN 15251 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics**. Brussels: CEN, 2007.

_____. **BS EN ISO 10551:2019, Ergonomics of the physical environment - Subjective judgement scales for assessing physical environments**. London: The British Standards Institution, 2019.

FERNANDES, Leandro Carlos. **Apartamento Edifício Rio Jordão**. Curitiba, 2021. Levantamento arquitetônico de apartamento, em 1 prancha. Arquivo em formato dwg.

FONTANELLA, Márcia Silva. **Percepção do ambiente térmico: preferências subjetivas e conforto térmico**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.

FRANÇA, Camila. **Apartamento Edifício Gemini**. Curitiba, 2018. Levantamento arquitetônico de apartamento, em 2 pranchas. Arquivo em formato dwg.

GIVONI, Baruch. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy & Buildings**, v. 1, p. 11–23, 1992.

GHSI, Eneidir; RUPP, Ricardo Forgiarini. Avaliação de modelos preditivos de conforto térmico em escritórios no clima subtropical brasileiro. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.19, n. 2, p. 91-107, 2019.

GRZYBOWSKI, Graziella Toledo. **Conforto Térmico Nas Escolas Públicas em Cuiabá – MT: Estudo de Caso**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, 2004.

HOYT, Tyler et al. CBE Thermal Comfort Tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations. **SoftwareX**, v.12, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Características gerais dos domicílios e dos moradores 2019 - PNAD Contínua. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**, [s. l.], p. 8, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/>

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA - IPPUC. **Perfil da Produção Imobiliária Formal em Curitiba (2000 a 2016)**. Curitiba, 2018.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION - ISO. **ISO 7726, Ergonomics of the Thermal Environment, Instruments for Measuring Physical Quantities**. Geneva: International Standard Organization, 1998.

_____. **ISO 7730 - Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. Geneva, 2005

KLEPEIS, N.; NELSON, W.; OTT, W.; ROBINSON, J.; TSANG, A.; SWITZER, P., et al. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): A resource for assessing exposure to environmental pollutants. **Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology**, 11(3), 2001.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Rio de Janeiro, Eletrobras/PROCEL, 2014.

LAZZAROTTO, Néborá. **Adequações do Modelo PMV na Avaliação do Conforto Térmico de Crianças do Ensino Fundamental de Ijuí – RS**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

LENZHOLZER, Sandra; NIKOLOPOULOU, Marialena. Foreword to the Special Issue on Subjective Approaches to Thermal Perception. **International Journal of Biometeorology**, v.64, 167–171 (2020).

LINCK, Gabriela Inês. **Avaliação do desempenho higrotérmico de habitações de interesse social em Santa Maria – RS**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

LIU, Gang; JIA, Yihong; CEN, Chao; MA, Binglu; LIU, Kuixing. Comparative thermal comfort study in educational buildings in autumn and winter seasons. **Science and Technology for the Built Environment**, v. 26:2, p.185-194, 2020.

MOREIRA, João Adolfo. **Apartamento Edifício Orion**. Curitiba, 2016. Projeto arquitetônico de reforma de apartamento, em 20 pranchas. Arquivos em formato dwg.

_____. **Apartamento Edifício Martim Afonso**. Curitiba, 2014. Projeto arquitetônico de reforma de apartamento, em 12 pranchas. Arquivos em formato dwg.

_____. **Apartamento Edifício Parque Batel**. Curitiba, 2022. Levantamento arquitetônico de apartamento, em 1 prancha. Arquivo em formato dwg.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. New standards for comfort and energy use in buildings. **Building Research and Information**, v. 37, n. 1, p. 68–73, 2009.

NICOL, J. F. ; HUMPHREYS, M. A. Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251. **Building and Environment**, 2010. v. 45, n. 1, p. 11–17.

NOGUEIRA, Barbara Lumy Noda. **Percepção e reação de trabalhadores ao ambiente térmico em escritórios condicionados artificialmente no contexto do clima quente e úmido**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba, 2018.

NUNES, Bianca Brekailo Silveira. **Influência da condição térmica na percepção da produtividade de discentes de uma instituição de ensino superior**. Dissertação de mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

OI, Hajime et al. Neural correlates of ambient thermal sensation: An fMRI study. *Sci Rep* 7, 11279 (2017).

PEREIRA, Adriana Rodrigues. **Análise do conforto térmico para usuários de uma moradia universitária e do desempenho térmico de sua envoltória**. Dissertação de mestrado. CEFET-MG, 2019.

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. De. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. *Ambiente Construído*, 2010. v. 10, n. 1, p. 31–51.

PERILLO, Paulo José Lima; CAMPOS, Marcus André Siqueira; ABREU-HARBICH, Loyde Vieira. Conforto térmico em salas de aula: revisão sistemática da literatura. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, v. 8, n. 4, p. 236-248, dez. 2017.

POLUCHA, Ricardo S.. **Apartamento Edifício Samambaia**. Curitiba, 2015. Projeto arquitetônico de reforma de apartamento, em 5 pranchas. Arquivos em formato dwg.

ROSSI, Francine A.; DUMKE, Eliane; KRÜGER, Eduardo L. **Atualização do Ano Climático de Referência para Curitiba**. Anais do X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal, setembro de 2009.

RUPP, Ricardo F. **Conforto térmico humano em edificações de escritórios localizadas no clima subtropical úmido de Florianópolis/SC**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

SANTO, A. D.; ALVAREZ, C. E. De; NICO-RODRIGUES, E. A. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575. *Cadernos Proarq*, v. 20, p. 114–136, 2013.

SANTOS, Aguinaldo dos. **Seleção do método de pesquisa: guia para pós-graduando em design e áreas afins**. Curitiba, PR: Insight, 2018.

SANTOS, Caroline Freire dos. **Análise do conforto térmico na Comunidade Jardim Colombo -SP**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

SANTOS, Juliana Barros dos. **Uso do PMV para avaliação do conforto térmico em edifício de escritório tipo plano aberto e sua viabilidade de aplicação em clima quente e úmido**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Alagoas, 2018.

SCHWEIKER, Marcel et al. The Scales Project, a cross-national dataset on the interpretation of thermal perception scales. **Sci Data** **6**, v. 289, 2019.

SCHWEIKER, Marcel; RISSETTO, Romina; WAGNER, Andreas. Thermal expectation: Influencing factors and its effect on thermal perception. **Energy and Buildings**, Volume 210, 2020.

SILVA, Liliane Flávia Guimarães da. **Percepção climática e conforto térmico: contribuição ao estudo interdisciplinar dos aspectos objetivos e subjetivos do clima em Palmas, TO**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Tocantins, 2018.

SILVA, Manoel Carlos Gameiro da. **Spreadsheets for the calculation of thermal comfort indices PMV and PPD**, 2013. DOI 10.1109/ICSGCE52779.2021.9621575

SIMMONDS, P. (2022). **Using ASHRAE Standard 55 Adaptive Comfort Method for Practical Applications**. CLIMA 2022 Conference. <https://doi.org/10.34641/clima.2022.83>

SUDBRACK, Larissa Olivier. **Casa Zero: diretrizes de projeto para casas pré-fabricadas de balanço energético nulo em Brasília**. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, 2017.

VAN DEN DOBBELSTEEN, Andy; KURVERS, Stanley; TALEGHANI, Mohammad; TENPIERIK, Martin. A review into thermal comfort in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p. 201–215, 2013.

XAVIER, Antonio Augusto de Paula. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2o grau na região de Florianópolis**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

APÊNDICE 1 - QUESTIONÁRIO – PRIMEIRA ETAPA/2021

População geral de Curitiba e RMC

(com Termo de Consentimento Livre e Esclarecido)

PERCEPÇÃO TÉRMICA - outono 2021

O objetivo desta pesquisa é caracterizar a percepção térmica dos usuários em suas habitações em Curitiba e região metropolitana. Os resultados fundamentarão futuros experimentos sobre percepção térmica em habitações naturalmente ventiladas.

Esta pesquisa é desenvolvida dentro do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFPR, sob coordenação do professor Leandro C. Fernandes e coorientação do professor Pedro A. B. Fontão.

Esta pesquisa destina-se a participantes maiores de 18 anos e residentes em Curitiba e sua região metropolitana.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Nós, Leandro Carlos Fernandes (professor/orientador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC), João Adolfo Moreira (mestrando do PPGEC), da Universidade Federal do Paraná, convidamos você, maior de 18 anos e residente em Curitiba e sua região metropolitana, a participar de um estudo intitulado PERCEPÇÃO TÉRMICA EM HABITAÇÕES CONDICIONADAS NATURALMENTE. Esta pesquisa possibilita preencher a lacuna de conhecimento a respeito de como os usuários percebem o ambiente térmico de suas habitações e definir faixas de temperaturas que sirvam de referência para projetistas.

Esse conhecimento tem impactos positivos diretos na saúde e no consumo energético e indiretos na preservação dos recursos ambientais.

- a) O objetivo desta pesquisa é caracterizar a percepção térmica dos usuários em suas habitações em Curitiba e região metropolitana.
- b) Caso você concorde em participar da pesquisa, será necessário responder este questionário via internet. O questionário contém questões sobre as características do ambiente térmico da sua residência, o seu vestuário no momento do preenchimento, os seus hábitos e sobre a sua percepção térmica. O tempo aproximado para o preenchimento do questionário é de 6 até 10 minutos.
- c) Entre os riscos e desconfortos que essa pesquisa pode ocasionar, estão inclusos: alteração da rotina pessoal do participante e a interrupção de atividades para responder aos questionários. Quanto às informações registradas, os pesquisadores garantem o anonimato das respostas pois nenhum participante será identificado.
- d) Dentre os benefícios diretos desta pesquisa está o conhecimento, por parte dos participantes, das condições ambientais que lhes são satisfatórias. Por sua vez, a população e a sociedade da região

metropolitana de Curitiba terão como benefício direto o conhecimento das preferências térmicas de uma amostra representativa de sua população. Dentre os benefícios indiretos está o fornecimento de informações consistentes para os projetistas locais a respeito das preferências térmicas dos moradores da região, possibilitando projetar edificações com desempenho térmico orientado para esse público. Os dados também poderão ser utilizados para orientar documentos como códigos de obras municipais ou normas regionais de desempenho térmico para edificações.

e) A sua participação neste estudo é voluntária e caso não queira mais fazer parte da pesquisa poderá desistir a qualquer momento.

f) O material obtido (respostas aos questionários) será utilizado unicamente para essa pesquisa e será arquivado na biblioteca do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC.

g) As informações relacionadas ao estudo poderão ser conhecidas por pessoas autorizadas (orientador e estudante listados no primeiro parágrafo deste termo) sob forma codificada, para que a sua identidade seja preservada e mantida sua confidencialidade.

h) As despesas necessárias para a realização da pesquisa não são de sua responsabilidade e você não receberá qualquer valor em dinheiro pela sua participação.

i) Contamos com as regras e normas de sigilo praticadas pelo *Google forms* (<https://policies.google.com/privacy?hl=pt-BR>) no uso dessa ferramenta para o questionário, entretanto, há o risco inerente a qualquer acesso à internet. Como forma de minimização, asseguramos que informações não fornecidas pelo participante (por exemplo, IP) não serão acessadas pelos pesquisadores.

j) Caso tenha dúvidas sobre seus direitos como participante desta pesquisa, você pode contatar também o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP/SD) do Setor de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Paraná, pelo e-mail cometica.saude@ufpr.br e/ou telefone 41 -3360-7259, das 08:30h às 11:00h e das 14:00h às 16:00h. O Comitê de Ética em Pesquisa é um órgão colegiado multi e transdisciplinar, independente, que existe nas instituições que realizam pesquisa envolvendo seres humanos no Brasil e foi criado com o objetivo de proteger os participantes de pesquisa, em sua integridade e dignidade, e assegurar que as pesquisas sejam desenvolvidas dentro de padrões éticos (Resolução nº 466/12 Conselho Nacional de Saúde).

k) Este projeto de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFPR em 5 de maio de 2021, pelo parecer número 4.693.298.

l) Este projeto de pesquisa foi registrado na Plataforma Brasil, do Ministério da Saúde, com Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) de número 42696820.2.0000.0102.

m) Os pesquisadores elencados poderão ser localizados no Centro Politécnico, Setor de Exatas, sala 406 ou no telefone (41)3361-3462, entre as 13:30 e as 17:30, ou nos respectivos e-mails (fernandes.ufpr@gmail.com e joamoreira@ufpr.br), para esclarecer eventuais dúvidas que você possa ter e fornecer-lhe as informações que queira, antes, durante ou depois de encerrado o estudo.

n) Em caso de emergência ou maiores esclarecimentos, você também poderá contatar o mestrando João Adolfo Moreira pelo telefone (41)xxxxx-xxxx.

1. Li este Termo de Consentimento e compreendi a natureza e o objetivo do estudo do qual concordei participar. A explicação que recebi menciona os riscos e benefícios. Eu entendi que sou livre para interromper minha participação a qualquer momento sem justificar minha decisão e sem qualquer

prejuízo para mim. Afirmo ser maior de 18 anos e residir na Região Metropolitana de Curitiba. Eu concordo, voluntariamente, em participar deste estudo

Li e concordo

Não concordo

Orientações gerais

Pesquisas anteriores mostraram que refeições, banhos, exercícios e a permanência em ambientes externos afetam a percepção térmica nos ambientes internos. Por isso, caso tenha acabado de chegar em sua moradia ou tenha feito uma refeição ou tomado banho ou feito exercícios, espere 30 minutos para responder o questionário.

Dados do participante

2. Sexo

Masculino

Feminino

Prefiro não responder

3. Idade _____

4. Você mora em Curitiba ou na região metropolitana há mais de um ano?

Sim

Não

5. Qual a sua região de origem?

- Sou nascido em Curitiba ou na região metropolitana
- Sul
- Sudeste
- Nordeste
- Norte
- Centro Oeste
- Exterior

6. Em qual município da Região Metropolitana de Curitiba você reside?

7. E em qual bairro?

Dados da moradia

8. Qual o tipo da sua moradia?

- Apartamento
- Casa
- Dormitório ou pensão
- Hotel ou casa de estudantes
- Outros _____

9. Quantos cômodos a sua moradia possui?

- 1 cômodos
- 2 cômodos
- 3 cômodos
- 4 cômodos
- 5 cômodos
- 6 cômodos
- Mais que 6 cômodos

10. Quantos pavimentos a edificação possui? Responda utilizando somente numerais.

11. Quanto aos materiais, a sua moradia é predominantemente feita de:

- Madeira
- Alvenaria (tijolos ou blocos de concreto)

12. Quanto ao telhado/cobertura, o material predominante é:

- Telha cerâmica
- Telha metálica
- Telha de fibrocimento
- Laje em concreto
- Outros _____

13. Qual a área total aproximada da sua moradia (em metros quadrados)? Responda utilizando somente numerais.

14. O local onde você está agora possui:

- Ar condicionado
- Aquecimento
- Nenhum dos dois

15. Caso tenha respondido positivamente na questão anterior, especifique:

- Ar condicionado está ligado neste momento
- Ar condicionado está desligado neste momento
- Aquecimento está ligado neste momento
- Aquecimento está desligado neste momento
- Não se aplica

Dados do cômodo no qual o participante responderá o questionário

16. Qual é o tipo de cômodo em que o questionário está sendo respondido?

- Dormitório
- Sala de estar ou jantar
- Escritório
- Multifunção (ambiente único)
- Outros _____

17. Esse cômodo está localizado:

- No subsolo
- No pavimento térreo
- Em um pavimento intermediário
- No último pavimento

18. Caso esteja no último pavimento, o ambiente possui laje de concreto?

- Possui laje
- Não possui laje
- Não é no último pavimento

19. Caso esteja no último pavimento, qual é o tipo de forro?

- Forro em madeira
- Forro em gesso
- Forro em PVC
- Não possui forro
- Não é no último pavimento

20. Qual a distância aproximada entre a sua posição e a janela?

- Menos de 1m
- 1m
- 2m
- 3m
- Mais de 3m

21. Qual é a orientação predominante da fachada onde está essa janela?

- Norte
- Sul
- Leste
- Oeste
- Não sei informar

22. Neste momento essa janela está:

- Fechada
- Totalmente aberta
- Entreaberta

Percepção térmica em atividade sedentária

Responder sentado ou em atividade sedentária

23. Neste momento você está:

- Em pé
- Sentado
- Deitado

24. Neste momento, no ambiente interno, você tem acesso a um termômetro?

- Sim
- Não

25. Qual a temperatura no cômodo? Responder somente com numerais. Exemplo: para 25 graus Celsius, colocar somente 25. Caso não tenha um termômetro na sua moradia, estime um valor que considere ser a temperatura atual do ambiente.

26. Há quanto tempo você entrou em sua moradia (aproximadamente)?

- 30 minutos
- 1 hora
- 2 horas
- Mais de 2 horas.

27. Você estava fazendo alguma destas atividades antes de começar a responder o questionário?

Marque apenas uma opção.

	15min atrás	de 15 a 30min atrás	mais de 30min atrás
Tarefas domésticas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Assistindo à televisão, lendo, estudando, navegando no celular, tarefas no computador	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dormindo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
outro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

28. Indique as peças de vestuário utilizadas no momento da resposta. Marque todos os itens utilizados.

- () camisa ou camiseta de manga curta
- () camisa ou camiseta de manga longa (tecido leve)
- () blusa leve (meia estação) manga longa
- () bermuda ou shorts
- () calça leve
- () calça pesada (moletom, brim, veludo ou jeans)
- () saia leve
- () saia pesada
- () vestido leve, manga curta
- () vestido pesado, manga comprida
- () camisola ou pijama leve
- () camisola ou pijama pesado
- () suéter leve
- () suéter pesado (lã)
- () jaqueta leve
- () jaqueta isolante
- () casaco pesado
- () colete pesado (inverno)
- () roupão
- () meias finas
- () meias grossas
- () meia calça
- () sapato com solado fino
- () sapato com solado grosso
- () bota
- () pantufas
- () sandálias/chinelos
- () descalço

29. Qual é a sua sensação térmica agora?

- Muito frio
- Frio
- Levemente frio
- Neutro
- Levemente quente
- Quente
- Muito quente

30. Neste momento como você se sente sobre o conforto térmico no ambiente?

- Muito desconfortável
- Desconfortável
- Neutro
- Confortável
- Muito confortável

31. No momento, você preferiria?

- Bem mais frio
- Mais frio
- Pouco mais frio
- Sem mudanças
- Pouco mais quente
- Mais quente
- Bem mais quente

32. Qual é a sua preferência pelo movimento do ar neste momento?

- Sem movimento de ar
- Um pouco menos de movimento de ar
- O mesmo
- Um pouco mais de movimento de ar
- Muito mais movimento de ar

33. Existe algum outro fator ambiental que possa estar incomodando você?

- Barulho
- Odores
- Luminosidade
- Nenhum incomodo
- Outros _____

Agradecimento

Agradecemos sua participação voluntária respondendo este questionário.

A sua participação neste estudo é muito importante para o desenvolvimento da pesquisa.

Para qualquer dúvida estamos à disposição pelo e-mail joamoreira@ufpr.br

APÊNDICE 2 - QUESTIONÁRIO – SEGUNDA ETAPA/2022

(com Termo de Consentimento Livre e Esclarecido)

PERCEPÇÃO TÉRMICA EM HABITAÇÕES EM CURITIBA - Outono 2022 - Apartamento N

O objetivo desta pesquisa é caracterizar a percepção térmica dos usuários em suas habitações em Curitiba. Os resultados fundamentarão futuros experimentos sobre percepção térmica em habitações naturalmente ventiladas.

Esta pesquisa é desenvolvida dentro do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFPR, sob coordenação do professor Dr. Leandro C. Fernandes e coorientação do professor Dr. Pedro A. B. Fontão.

Esta pesquisa destina-se a participantes maiores de 18 anos e residentes em Curitiba.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Nós, Leandro Carlos Fernandes (professor/orientador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC), João Adolfo Moreira (mestrando do PPGEC), da Universidade Federal do Paraná, convidamos você, maior de 18 anos e residente em Curitiba, a participar de um estudo intitulado PERCEPÇÃO TÉRMICA EM HABITAÇÕES EM CURITIBA. Esta pesquisa possibilita preencher a lacuna de conhecimento a respeito de como os usuários percebem o ambiente térmico de suas habitações e definir faixas de temperaturas que sirvam de referência para projetistas.

Esse conhecimento tem impactos positivos diretos na saúde e no consumo energético e indiretos na preservação dos recursos ambientais.

- a) O objetivo desta pesquisa é caracterizar a percepção térmica dos usuários em suas habitações em Curitiba e região metropolitana.
- b) Caso você concorde em participar da pesquisa, será necessário responder este questionário via internet. O questionário contém questões sobre as características do ambiente térmico da sua residência, o seu vestuário no momento do preenchimento, os seus hábitos e sobre a sua percepção térmica. O tempo aproximado para o preenchimento do questionário é de 6 até 10 minutos.
- c) Entre os riscos e desconfortos que essa pesquisa pode ocasionar, estão inclusos: alteração da rotina pessoal do participante e a interrupção de atividades para responder aos questionários. Quanto às informações registradas, os pesquisadores garantem o anonimato das respostas pois nenhum participante será identificado.
- d) Dentre os benefícios diretos desta pesquisa está o conhecimento, por parte dos participantes, das condições ambientais que lhes são satisfatórias. Por sua vez, a população e a sociedade da região metropolitana de Curitiba terão como benefício direto o conhecimento das preferências térmicas de uma amostra representativa de sua população. Dentre os benefícios indiretos está o fornecimento de informações consistentes para os projetistas locais a respeito das preferências térmicas dos moradores da região, possibilitando projetar edificações com desempenho térmico orientado para esse público. Os dados também poderão ser utilizados para orientar documentos como códigos de obras municipais ou normas regionais de desempenho térmico para edificações.
- e) A sua participação neste estudo é voluntária e caso não queira mais fazer parte da pesquisa poderá desistir a qualquer momento.
- f) O material obtido (respostas aos questionários) será utilizado unicamente para essa pesquisa e

será arquivado na biblioteca do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC.

- g) As informações relacionadas ao estudo poderão ser conhecidas por pessoas autorizadas (orientador e estudante listados no primeiro parágrafo deste termo) sob forma codificada, para que a sua identidade seja preservada e mantida sua confidencialidade.
- h) As despesas necessárias para a realização da pesquisa não são de sua responsabilidade e você não receberá qualquer valor em dinheiro pela sua participação.
- i) Contamos com as regras e normas de sigilo praticadas pelo Google forms (<https://policies.google.com/privacy?hl=pt-BR>) no uso dessa ferramenta para o questionário, entretanto, há o risco inerente a qualquer acesso à internet. Como forma de minimização, asseguramos que informações não fornecidas pelo participante (por exemplo, IP) não serão acessadas pelos pesquisadores.
- j) Caso tenha dúvidas sobre seus direitos como participante desta pesquisa, você pode contatar também o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP/SD) do Setor de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Paraná, pelo e-mail cometica.saude@ufpr.br e/ou telefone 41 -3360-7259, das 08:30h às 11:00h e das 14:00h às 16:00h. O Comitê de Ética em Pesquisa é um órgão colegiado multi e transdisciplinar, independente, que existe nas instituições que realizam pesquisa envolvendo seres humanos no Brasil e foi criado com o objetivo de proteger os participantes de pesquisa, em sua integridade e dignidade, e assegurar que as pesquisas sejam desenvolvidas dentro de padrões éticos (Resolução nº 466/12 Conselho Nacional de Saúde).
- k) Este projeto de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFPR em 5 de maio de 2021, pelo parecer número 4.693.298.
- l) Este projeto de pesquisa foi registrado na Plataforma Brasil, do Ministério da Saúde, com Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) de número 42696820.2.0000.0102.
- m) Os pesquisadores elencados poderão ser localizados no Centro Politécnico, Setor de Exatas, sala 406 ou no telefone (41)3361-3462, entre as 13:30 e as 17:30, ou nos respectivos e-mails (fernandes.ufpr@gmail.com e joaomoreira@ufpr.br), para esclarecer eventuais dúvidas que você possa ter e fornecer-lhe as informações que queira, antes, durante ou depois de encerrado o estudo.
- n) Em caso de emergência ou maiores esclarecimentos, você também poderá contatar o mestrando João Adolfo Moreira pelo telefone (41)xxxxx-xxxx.

1. Li este Termo de Consentimento e compreendi a natureza e o objetivo do estudo do qual concordei participar. A explicação que recebi menciona os riscos e benefícios. Eu entendi que sou livre para interromper minha participação a qualquer momento sem justificar minha decisão e sem qualquer prejuízo para mim. Afirmando ser maior de 18 anos e residir na Região Metropolitana de Curitiba. Eu concordo, voluntariamente, em participar deste estudo.

Li e concordo

Não concordo (Pular para seção 6 - Agradecimentos)

ORIENTAÇÕES GERAIS

Pesquisas anteriores mostraram que refeições, banhos, exercícios e a permanência em ambientes externos afetam a percepção térmica nos ambientes internos. Por isso, caso tenha acabado de chegar em sua moradia ou tenha feito uma refeição ou tomado banho ou feito exercícios, espere 30 minutos para responder o questionário.

O questionário deverá ser respondido no ambiente onde está instalado o equipamento de monitoramento de temperaturas.

Dados do participante

2. Sexo biológico

- Masculino
- Feminino
- Prefiro não responder

3. Idade ____ (responder com numerais)

4. Você mora em Curitiba ou na região metropolitana há mais de um ano?

- Sim
- Não

5. Qual a sua região de origem?

- Sou nascido em Curitiba ou na região metropolitana
- Sul
- Sudeste
- Nordeste
- Norte
- Centro Oeste
- Exterior

Percepção térmica em atividade sedentária

Responder sentado ou em atividade sedentária, no mesmo ambiente em que está instalado o equipamento de monitoramento de temperaturas.

6. Neste momento você está:

sentado

deitado

7. Há quanto tempo você entrou em sua moradia (aproximadamente)?

30 minutos

1 hora

2 horas

Mais de 2 horas.

8. Você estava fazendo alguma destas atividades antes de começar a responder o questionário?

Marque apenas uma opção.

	15min atrás	de 15 a 30min atrás	mais de 30min atrás
Tarefas domésticas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Assistindo à televisão, lendo, estudando, navegando no celular, tarefas no computador	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dormindo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
outro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. Indique as peças de vestuário utilizadas no momento da resposta. Marque todos os itens utilizados.

- camisa ou camiseta de manga curta
- camisa ou camiseta de manga longa (tecido leve)
- blusa leve (meia estação) manga longa
- bermuda ou shorts
- calça leve
- calça pesada (moletom, brim, veludo ou jeans)
- saia leve
- saia pesada
- vestido leve, manga curta
- vestido pesado, manga comprida
- camisola ou pijama leve
- camisola ou pijama pesado
- suéter leve
- suéter pesado (lã)
- jaqueta leve
- jaqueta isolante
- casaco pesado
- colete pesado (inverno)
- roupão
- meias finas
- meias grossas
- meia calça
- sapato com solado fino
- sapato com solado grosso
- bota
- pantufas
- sandálias/chinelos
- descalço

10. Qual é a sua sensação térmica agora?

- muito frio
- frio
- levemente frio
- Neutro
- levemente quente
- quente
- muito quente

11. Neste momento como você se sente sobre o conforto térmico no ambiente?

- Muito desconfortável
- Desconfortável
- Neutro
- Confortável
- Muito confortável

12. No momento, você preferiria?

- bem mais frio
- mais frio
- pouco mais frio
- Sem mudanças
- pouco mais quente
- mais quente
- bem mais quente

13. Qual é a sua preferência pelo movimento do ar neste momento?

- Sem movimento de ar
- Um pouco menos de movimento de ar
- O mesmo
- Um pouco mais de movimento de ar
- Muito mais movimento de ar

14. Existe algum outro fator ambiental que possa estar incomodando você?

- barulho
- odores
- luminosidade
- nenhum incomodo
- Outro: _____

15. Em geral, durante o inverno você considera que sua habitação é:

- muito fria
- fria
- levemente fria
- Neutra
- levemente quente
- quente
- muito quente

Agradecimento

Agradecemos sua participação voluntária respondendo a este questionário.

A sua participação neste estudo é muito importante para o desenvolvimento da pesquisa.

Para qualquer dúvida estamos à disposição pelo e-mail joamoreira@ufpr.br ou pelo telefone (41)xxxxx-xxxxx.

OBS.: No questionário original consta o telefone celular do pesquisador. Neste documento esta informação foi ocultada por motivos de privacidade.