

MONITORIZAÇÃO DE QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR EM ALOJAMENTOS DE ESTUDANTES DO INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

Guilherme Soares Gazola

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança
para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental no
âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica
Federal do Paraná*

Orientado por
Professor Doutor Artur Jorge de Jesus Gonçalves
Professor Doutor Getúlio Paulo Peixoto Igrejas
Professor Doutor Davi Zacarias de Souza

**Bragança
2023**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a todas as pessoas e instituições que contribuíram para a realização dessa dissertação. Primeiramente, agradeço os meus orientadores Artur Gonçalves, Getúlio Igrejas e Davi Zacarias, pela orientação precisa, paciência e apoio durante toda a execução desse trabalho. Agradeço também as instituições Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão e o Instituto Politécnico de Bragança pelo acordo de cooperação que possibilitou a realização deste mestrado aqui em Portugal.

Quero agradecer especialmente meus amigos Taiana e Nicolas, que em momentos difíceis durante essa etapa da vida, sempre estiveram ao meu lado me apoiando e dando forças para não desistir e continuar mantendo o foco no que está à frente. Também quero agradecer minha família, que mesmo estando distante nunca deixaram de me apoiar e me dar forças para continuar seguindo em frente.

RESUMO

Este estudo visa avaliar as condições ambientais nas residências dos estudantes de ensino superior em Bragança, focando no conforto térmico e na qualidade do ar interno. A pesquisa foi conduzida em três moradias ao longo de sete meses, utilizando sensores para monitorar os parâmetros ambientais e questionários semanais para captar a percepção dos moradores. Para a coleta de dados, foram instalados sistemas de monitorização que incluíam sensores de temperatura do ar, humidade relativa, monóxido de carbono (CO) e material particulado (PM10). Os moradores responderam a questionários abordando sua percepção de conforto térmico e qualidade do ar, com os dados coletados sendo analisados estatisticamente e comparados com dados climáticos externos. Os resultados indicaram que, durante o verão, a temperatura do ar interno das residências manteve-se dentro da faixa de conforto térmico (20-27°C). No entanto, com a chegada do inverno, a temperatura do ar frequentemente caiu abaixo dessa faixa, resultando em maior desconforto térmico relatado pelos moradores. A humidade relativa geralmente permaneceu dentro dos limites de conforto, embora ocasionalmente tenha se desviado, exigindo intervenções dos moradores. Em termos de qualidade do ar, houve um aumento significativo na concentração de PM10 a partir do outono, frequentemente ultrapassando os limites estabelecidos pela organização mundial da saúde (OMS). As concentrações de CO também aumentaram em duas das três residências durante o mesmo período. Conclui-se que melhorias são necessárias nas estratégias de aquecimento das residências para manter as condições de conforto térmico durante o inverno. Recomenda-se, ainda, a instalação de sensores adicionais para medir a velocidade do ar e a concentração de CO₂, visando uma análise mais precisa das condições ambientais internas.

Palavras-chave: Conforto Térmico; Qualidade do Ar Interior; Sensores.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the environmental conditions in the residences of higher education students in Bragança, focusing on thermal comfort and indoor air quality. The research was conducted in three residences over seven months, using sensors to monitor environmental parameters and weekly questionnaires to capture residents' perceptions. For data collection, monitoring systems were installed, including sensors for temperature, relative humidity, carbon monoxide (CO), and particulate matter (PM10). Residents responded to questionnaires about their perception of thermal comfort and air quality, with the collected data statistically analyzed and compared with external climatic data. The results indicated that, during summer, the internal temperature of the residences remained within the thermal comfort range (20-27°C). However, with the arrival of winter, the temperature frequently fell below this range, resulting in increased thermal discomfort reported by residents. Relative humidity generally remained within comfort limits, although occasionally deviated, requiring interventions from residents. In terms of air quality, there was a significant increase in PM10 concentration from autumn, often exceeding the limits set by the World Health Organization (WHO). CO concentrations also increased in two of the three residences during the same period. It is concluded that improvements are needed in the heating strategies of the residences to maintain thermal comfort conditions during winter. Additionally, it is recommended to install additional sensors to measure air velocity and CO₂ concentration for a more accurate analysis of internal environmental conditions.

Keywords: Thermal Comfort; Indoor Air Quality; Sensors.

ACRONIMOS

ASHRAE – Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Condicionamento de Ar

BBCC – Building Bioclimatic Chart

CLO – Resistência térmica das roupas

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

COVT – Compostos Orgânicos Voláteis totais

HVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado

HRI – Humidade Relativa Interna

HRE – Humidade Relativa Externa

ICSP – Programação serial em circuito

IPB – Instituto Politécnico de Bragança

MET – Taxa metabólica

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

O₃ – Ozônio

OMS – Organização Mundial da Saúde

PM – Material Particulado

Ppm – Parte Por Milhão

QAI – Qualidade do ar Interior

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

SO₂ – Dióxido de Enxofre

SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

TE – Temperatura do ar Externo

Tg – Temperatura do Globo

TI – Temperatura Do Ar Interno

UARTs - Transmissor Receptor Assíncrono Universal

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	II
RESUMO.....	III
ABSTRACT	IV
ACRONIMOS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica	3
2.1 Conforto Térmico	3
2.1.1 Carta Bioclimática de Olgyay.....	7
2.1.2 Carta Bioclimática de Givoni.....	8
2.2 Qualidade do Ar	10
2.2.1 Material Particulado (PM ₁₀ e PM _{2,5}).....	12
2.2.2 Monóxido De Carbono	13
2.2.3 Sistemas de Aquecimento.....	14
2.3 Enquadramento Legal	15
3. Metodologia	17
3.1 Descrição das Casas.....	18
3.2 Sensores	20
3.2.1 Arduino Mega 2560.....	21
3.2.2 Sensor BME 680	22
3.2.3 Sensor SPS 30	22
3.2.4 Sensor SPEC CO	23
3.2.5 Miniestação de Monitorização.....	24
3.3 Componentes Auxiliares	24
3.4 Questionário.....	25
4. Resultados e Discussão	29
4.1 Análise do Conforto Térmico.....	29
4.1.1 Análise da Temperatura do Ar e Humidade Relativa	29
4.1.2 Análise da Percepção de Conforto Térmico	39
4.1.3 Análise do Local de Permanência dos Moradores.	43
4.1.4 Análise da Escolha de Vestimenta.....	45
4.1.5 Análise das Ações Realizadas pelos Moradores.....	47

4.1.6	Análise da Utilização de Equipamentos pelos Moradores.....	48
4.1.7	Análise Do Grau De Concordância Em Relação Ao Efeito Da Temperatura Do Ar No Ambiente Interno.....	50
4.2	Análise da Qualidade do Ar.....	53
4.2.1	Análise do Nível da Circulação de Ar.....	53
4.2.2	Análise da Concentração de Monóxido de Carbono.....	54
4.2.3	Análise da Concentração de PM ₁₀	57
4.2.4	Análise das Situações Relatadas pelos Moradores.....	60
5.	Conclusão.....	62
6.	Referência Bibliografica.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Limites da zona de conforto térmico em função da temperatura do ar no inverno e verão.....	9
Figura 2: Esquema metodológico adotado para este estudo.	17
Figura 3: Equipamentos de Climatização	20
Figura 4: Arduino Mega 2560	21
Figura 5: Sensor BME 680.	22
Figura 6: Sensor SPS 30.....	23
Figura 7: Sensor SPEC CO.....	23
Figura 8: Miniestação de monitorização do ambiente interno.	24
Figura 9: Comparação da média da temperatura interna e externa por casa por estação do ano em relação aos dias realizados o questionário.	30
Figura 10: Comparação da média da temperatura interna e externa por casa por mês em relação a todo o período do estudo.	31
Figura 11: Comparação da média da humidade relativa interna e externa por casa por mês em relação a todo o período do estudo.	32
Figura 12: Histórico da temperatura do ar e humidade relativa da Casa 1.	34
Figura 13: Histórico da temperatura do ar e humidade relativa da Casa 2.	35
Figura 14: Histórico da temperatura do ar e humidade relativa da Casa 3.	36
Figura 15: Zona de Conforto Térmico para as três casas durante o verão.	40
Figura 16: Zona de Conforto Térmico para as três casas durante o outono. ...	40
Figura 17: Zona de Conforto Térmico para as três casas durante o inverno. ..	41
Figura 18: Percepção de conforto térmico dos moradores por casa por estação do ano.	43
Figura 19: Local da casa onde os moradores passavam maior parte do tempo.	44
Figura 20: Qual roupa os moradores tem vestida em relação a estação do	45
Figura 21: Gráfico Boxplot da relação entre o nível de vestuário (CLO) e a percepção de conforto térmico.	46
Figura 22: Ações realizadas pelos moradores para melhorar o conforto térmico.	47

Figura 23: Uso de equipamentos dos moradores de cada casa por estação do ano.	49
Figura 24: Uso de equipamentos dos moradores de cada casa por mês.	49
Figura 25: Grau de concordância em relação ao efeito da temperatura do ar do ambiente interno sobre o desempenho nas atividades rotineiras.....	51
Figura 26: Gráfico Boxplot para a relação entre o nível de concordância e a percepção de conforto térmico.	52
Figura 27: Percepção dos moradores sobre o nível da circulação do ar no interior das residências por casa por estação do ano.	54
Figura 28: Variação da concentração de CO em relação as estações do ano.	55
Figura 29: Histórico da concentração de CO das três casas.	56
Figura 30: Concentração de PM ₁₀ em relação a temperatura do ar interno por casa por estação do ano nos dias de aplicação do questionário.	58
Figura 31: Histórico da concentração de PM ₁₀ das três casas.	59
Figura 32: Situações relatadas pelos moradores que afetaram a qualidade do ar interno.	61

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Escala de Conforto Térmico.	4
Tabela 2: Valores de MET Tipicamente Encontrados.	6
Tabela 3: Valores de CLO Comumente Encontrados.	6
Tabela 4: Correlação entre a temperatura do ar e umidade relativa.	32
Tabela 5: Análise descritiva das três casas em relação a umidade relativa e temperatura do ar durante o verão.	37
Tabela 6: Análise descritiva das três casas em relação a umidade relativa e temperatura do ar durante o outono.	38
Tabela 7: Análise descritiva das três casas em relação a umidade relativa e temperatura do ar durante o inverno.	39

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Contaminantes e suas Respectivas Fontes.	11
Quadro 2: Principais Sintomas à exposição ao CO.....	13
Quadro 3: Questões sobre a percepção do estado físico dos moradores.....	25
Quadro 4: Questões Sobre A Percepção Do Conforto Térmico Dos Moradores.	26
Quadro 5: Questões Sobre A Percepção Da Qualidade Do Ar Dos Moradores.	27
Quadro 6: Questões Sobre A Necessidade De Realizar Alguma Ação Por Parte Dos Moradores.....	27

1. Introdução

A busca por criar ambientes internos que ofereçam tanto conforto térmico quanto ar de alta qualidade tornou-se uma preocupação crescente na sociedade atual. Com o aumento da urbanização e o aumento do tempo que as pessoas passam em ambientes fechados, o impacto direto desses espaços internos na saúde, na produtividade e no bem-estar das pessoas tornou-se inegável. Portanto, monitorar e controlar efetivamente o conforto térmico e a qualidade do ar em espaços fechados desempenham um papel fundamental na criação de ambientes propícios para o desenvolvimento humano.

O nível de conforto é, de certa forma, subjetivo, pois a percepção de conforto em condições idênticas varia de acordo com cada usuário. Existem seis fatores primários que devem ser considerados ao estabelecer as condições para o conforto térmico, sendo eles: taxa metabólica, isolamento da vestimenta, temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade do ar e umidade relativa do ar (Ramspeck et al., 2004).

Existem também outros parâmetros objetivos de qualidade ambiental, como todos os relacionados à saúde humana: poluição sonora (ruído) ou poluição atmosférica (CO₂ e outros poluentes gasosos), que devem ser minimizados em todos os casos. Todos esses parâmetros de conforto no interior da habitação dependem não apenas das características da habitação, do uso e do desempenho dos equipamentos para melhorar o conforto, mas também das condições climáticas e ambientais externas à habitação.

A percepção das temperaturas pode apresentar variação entre os sexos, sendo influenciada por fatores pessoais e contextuais, desse modo, estudos têm sugerido que as mulheres tendem a experimentar sensações de frio mais intensas do que os homens quando expostas a condições térmicas idênticas, além de apresentarem maior insatisfação ao compartilhar um mesmo espaço térmico e reações mais acentuadas diante de desvios em relação às condições térmicas ideais (Indraganti & Humphreys, 2021; Rupp et al., 2023). Destaca-se ainda, que tais diferenças têm sido atribuídas, em parte, a comportamentos relacionados à vestimenta, embora aspectos fisiológicos, como a diferença de tamanho, relação entre área de superfície corporal e massa, e produção endógena de calor,

também tenham sido considerados como contribuintes (Indraganti & Humphreys, 2021; Rupp et al., 2023).

O processo de planejamento de um estudo de monitoramento inicia-se pela definição dos objetivos a serem alcançados, dos parâmetros a serem monitorados e da duração e período em que o estudo ocorrerá. Também é importante escolher os sensores adequados, determinar sua localização no espaço a ser monitorado e estabelecer a frequência das medições e coleta de dados.

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar as condições ambientais em que os alunos do ensino superior residem em Bragança, por meio da coleta e análise de dados de conforto térmico e da qualidade do ar do ambiente interno. Como objetivo específico, tem-se a montagem e instalação de sistemas de monitorização dos parâmetros ambientais, a elaboração de um questionário que aborda questões sobre a percepção de conforto térmico e qualidade do ar de cada morador, comparar as respostas com os dados obtidos pelos sensores através de análises estatísticas e colaborar na definição de estratégias de intervenção.

Esses parâmetros foram analisados em três moradias durante sete meses. O questionário que será respondido por cada morador semanalmente até o final da coleta de dados. Os dados obtidos pelos sensores, serão analisados e comparados com dados climáticos do exterior e com as respostas dos questionários, desse modo, identificando pontos de melhoria da residência.

O presente trabalho está organizado da seguinte maneira. Com o primeiro capítulo sendo a introdução, onde elaborou-se sobre o contexto do tema de análise e o que se pretende alcançar com este estudo. No segundo capítulo, é apresentada a revisão bibliográfica sobre o conforto térmico e a qualidade do ar do ambiente interno. No terceiro está descrita a metodologia utilizada para a execução do trabalho assim como o questionário aplicado aos moradores. No quarto capítulo são apresentados os dados coletados pelos sensores, assim como as análises feitas sobre o conforto térmico e qualidade do ar de cada residência, como também a discussão desses dados. Por fim, no quinto capítulo, está a conclusão sobre o trabalho, onde também foram apontados pontos de melhoria para as residências e para estudos futuros.

2. Revisão Bibliográfica

Em países desenvolvidos, onde até 90% do tempo é passado em ambientes internos, a poluição do ar em domicílios representa uma questão premente. A qualidade do ar em ambientes internos é influenciada por poluentes tipicamente associados a fontes veiculares e industriais, com concentrações agravadas em locais carentes de ventilação adequada, sob a influência das condições climáticas e geográficas locais (Kumar et al., 2023; Pillarisetti et al., 2022). Entre os componentes do ar poluído em ambientes internos, incluem-se óxidos de nitrogênio (NOx), Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), SO₂, O₃, CO e Material Particulado (PM), com origem em ambientes internos e externos, destacando a complexidade desse problema (Kumar et al., 2023; Pei et al., 2022; Pillarisetti et al., 2022).

2.1 Conforto Térmico

O conforto térmico é um conceito fundamental nos estudos relacionados ao ambiente construído e à qualidade de vida dos ocupantes. Refere-se à condição na qual um indivíduo se sente satisfeito com o ambiente térmico no qual está inserido, seja ele um edifício, uma sala, um veículo ou qualquer outro espaço controlado termicamente (Givoni, 1992).

O termo “neutralidade térmica” frequentemente é confundido com conforto térmico, embora sejam conceitos distintos que estão interligados. A neutralidade térmica ocorre quando a quantidade de calor perdida pelo corpo humano é equivalente à quantidade de calor fornecida pelo ambiente externo, resultando em uma temperatura corporal constante, por outro lado, o conforto térmico é determinado por sensações subjetivas que são influenciadas por diversos fatores (Lamberts et al., 2014).

No contexto das variáveis ambientais, a temperatura do ar, a umidade relativa, a velocidade do ar e a radiação térmica são parâmetros cruciais a serem considerados. Além disso, características individuais, como a taxa metabólica, a vestimenta e a exposição ao ar livre, influenciam diretamente a percepção do conforto térmico (Zoure & Genovese, 2023).

A busca pelo conforto térmico ideal tem implicações significativas na eficiência energética dos edifícios e no bem-estar dos ocupantes. Por meio do entendimento dos princípios do conforto térmico, é possível desenvolver estratégias de projeto, como o correto dimensionamento dos sistemas de climatização e a implementação de soluções passivas, a fim de proporcionar condições termicamente confortáveis e saudáveis (Zoure & Genovese, 2023).

De acordo com a Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Condicionamento de Ar (ASHRAE), conforto térmico é definido como “estado mental que expressa satisfação com o ambiente térmico e é avaliado por uma avaliação subjetiva”, sendo influenciado por fatores sociais e culturais de cada indivíduo (Djongyang et al., 2010). E ainda, define uma escala de conforto térmico, como descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Escala de Conforto Térmico.

Escala	Sensação
+3	Muito Quente
+2	Quente
+1	Levemente Quente
0	Neutro
-1	Levemente Frio
-2	Frio
-3	Muito Frio

Fonte: Adaptado de (Ramspeck et al., 2004).

As sensações térmicas podem variar entre os indivíduos, mesmo quando expostos ao mesmo ambiente, devido a uma variedade de fatores que influenciam a percepção térmica de cada ocupante (Djongyang et al., 2010; Yang et al., 2014). O conforto também pode variar de acordo com escolhas comportamentais como, trocar de roupa, mudança de atividade, mudança de local no ambiente, abrir uma janela e/ou porta. De acordo com Ramspeck et al., (2004), há seis fatores primários que afetam o conforto térmico que devem ser abordados: taxa metabólica, resistência térmica das roupas, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar e radiação térmica.

Os elementos estruturais dos edifícios, como paredes, tetos, pisos, portas e janelas, desempenham um papel crucial na regulação da temperatura interna, estabelecendo um contraste entre o ambiente interno e externo, podendo

proporcionar condições térmicas opostas às do ambiente exterior, que pode estar excessivamente quente ou frio (Frota & Schiffer, 2006).

O corpo humano adquire energia por meio do metabolismo, uma parte significativa dessa energia, aproximadamente 20%, é convertida em capacidade de trabalho, o restante, cerca de 80%, é transformado em calor, que precisa ser dissipado para manter o equilíbrio do organismo (Frota & Schiffer, 2006). Tanto a produção quanto a dissipação de calor dependem da atividade que a pessoa está realizando.

A taxa metabólica, expressa como o valor MET, de acordo com Ramspeck et al., 2004, é a unidade utilizada para descrever a energia gerada dentro do corpo devido à atividade metabólica é definida como 58.2 W m^{-2} (18.4 Btu/h.ft^2), o que equivale à energia produzida por unidade de área superficial de uma pessoa média, aproximadamente $1,8 \text{ m}^2$, sentada em repouso. Em repouso absoluto, conhecido como metabolismo basal, o calor dissipado pelo corpo para o ambiente é de aproximadamente 75 Watts (Frota & Schiffer, 2006).

A sensação de desconforto térmico ocorre quando o corpo não consegue dissipar adequadamente o calor gerado pelo metabolismo, resultando em uma sensação de calor ou frio, desse modo, a atividade realizada pela pessoa está diretamente relacionada ao conforto térmico, pois pode afetar o sistema de regulação térmica do corpo (Lamberts et al., 2014). Quanto mais esforço o organismo precisa fazer para manter a temperatura interna, maior será o desconforto sentido. Os valores tipicamente encontrados estão representados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores de MET Tipicamente Encontrados.

Atividade	Valor MET
Dormindo	0,8
Atividades sedentárias (sentar-se, ler, ao computador)	1 – 1,2
Em pé	1,4
Trabalho leve em pé	1,6 – 2
Caminhar lentamente (3km h ⁻¹)	2
Atividades moderadas (caminhar normalmente (5km h ⁻¹))	2,6
Caminhar rapidamente (7km h ⁻¹)	4
Atividade pesada (trabalho físico pesado, exercício)	3
Correr (10km h ⁻¹)	9

Adaptado de: Fanger, (1973).

A resistência térmica das roupas, expressa como o valor CLO, refere-se à capacidade das vestimentas de reduzir a transferência de calor entre o corpo humano e o ambiente externo. O valor CLO é uma medida padronizada da resistência térmica das roupas e é amplamente utilizado na avaliação do isolamento térmico oferecido por diferentes tipos de vestuário. Na Tabela 3, estão representados os valores comumente encontrados para esse parâmetro.

Tabela 3: Valores de CLO Comumente Encontrados.

Atividade	Valor CLO
Corpo nu	0
Roupa de banho (bikini, calção de banho, sunga)	0 – 0,3
Roupa ligeira de interior (shorts, camiseta, vestido leve)	0,3 – 0,5
Roupa moderada de interior (calça, camisa, saia longa)	0,5 – 1
Roupa pesada de interior (calça grossa, camisa manga longa, blusa)	1 – 1,5
Roupa pesada com cama adicional (duas ou mais blusas, casaco, cachecol, gorro)	3 – 4

Adaptado de: Fanger, (1973).

A sensação de conforto térmico é influenciada pelas estações do ano, na qual o fluxo de energia pode variar entre situações de ganho térmico, como na primavera e verão, e situações de perda térmica, como no outono e inverno. A temperatura ambiente externa desempenha um papel crucial no conforto térmico dos edifícios influenciando as trocas de calor. Durante o inverno, a radiação solar é benéfica, elevando naturalmente a temperatura interna, entretanto, no verão, essa mesma radiação pode ser prejudicial, já que a temperatura ambiente já tende a ser alta, resultando em um acúmulo excessivo de calor que pode causar desconforto aos ocupantes das residências (Sevegnani et al., 1994).

Para garantir a qualidade do conforto térmico, é essencial projetar com atenção os edifícios, para definir corretamente a orientação da fachada do edifício. Juntamente a isso, a ventilação é crucial para garantir o conforto interno. Durante o verão, a ventilação natural é uma opção viável para resfriar os edifícios, mas no inverno, os ventos tornam-se indesejáveis, exigindo medidas para controlar sua entrada, entretanto, é crucial renovar o ar interior para manter a qualidade do ambiente dentro dos edifícios (H. Gonçalves & Graça, 2004).

2.1.1 Carta Bioclimática de Olgay

A carta bioclimática de Olgay é uma representação visual das relações entre temperatura do ar, Humidade relativa e conforto humano. Ele define faixas de conforto para diferentes condições climáticas e mostra como a velocidade do vento e a evaporação podem influenciar o conforto térmico, além disso, fornece orientações para situações de subaquecimento e superaquecimento, e sua aplicação prática inclui a análise das condições de conforto em uma determinada localidade ao longo do ano, auxiliando na concepção de espaços habitáveis em diversos climas (Bogo et al., 1994; Givoni, 1992).

Olgay propôs uma extensão do uso do Gráfico Bioclimático e do Cronograma de Necessidades Climáticas, originalmente destinados a condições externas, como uma ferramenta para orientar a ventilação em ambientes internos. Ele observou que, em regiões úmidas como o leste dos EUA, as temperaturas internas tendem a se aproximar das externas. No entanto, em áreas áridas, as discrepâncias podem ser consideráveis, com temperaturas

internas diurnas até 7 a 8 °C mais baixas do que as externas. Essas variações demonstram que a aplicação direta de diretrizes baseadas nas condições externas pode não refletir com precisão as necessidades de conforto térmico interno (Givoni, 1992). Portanto, é necessário adaptar as estratégias de ventilação e controle climático para levar em conta as diferenças específicas entre ambientes internos e externos.

2.1.2 Carta Bioclimática de Givoni

O gráfico bioclimático do edifício, “Building Bioclimatic Chart” (BBCC) foi criado por Givoni em 1969, para abordar as adversidades associadas aos gráficos de Olgyay (Givoni, 1992). Sendo fundamentado na temperatura interna dos edifícios, estimada por meio de experiência ou cálculos, ao contrário das temperaturas externas, sendo representada em um gráfico psicrométrico convencional (Bogo et al., 1994; Givoni, 1992).

O BBCC define os limites das condições climáticas em que várias abordagens de projeto e sistemas naturais de resfriamento podem assegurar o conforto interno, desse modo, essas estratégias incluem ventilação diurna, alta massa térmica com ou sem ventilação noturna (Givoni, 1992).

Os limites de temperatura do ar em condições de baixa e média umidade relativa são independentes do nível de umidade relativa, dado que, nesta faixa, a umidade relativa não afeta significativamente o conforto térmico das pessoas sedentárias utilizando vestimenta convencional. No entanto, em umidades relativas mais elevadas, os efeitos da temperatura do ar e umidade relativa estão interligados, resultando na diminuição do limite superior de temperatura do ar conforme a umidade relativa aumenta, sendo que para os residentes em países desenvolvidos, as faixas de temperatura do ar sugeridas para condições aceitáveis em ambientes sem movimentação de ar são de 18-25 °C no inverno e 20-27 °C no verão (Givoni, 1992). Desse modo, esses limites de temperatura do ar superiores são aplicáveis em baixos níveis de umidade relativa, abaixo de um conteúdo de vapor de 10 e 12 g/kg, para residentes em países desenvolvidos e em países em desenvolvimento com climas quentes (Figura 1). Entretanto, em ambientes com umidades relativas mais elevadas, o limite de

temperatura do ar superior diminui gradualmente, onde o limite superior de humidade relativa, em termos de humidade absoluta, é de 15 g/kg (Givoni, 1992).

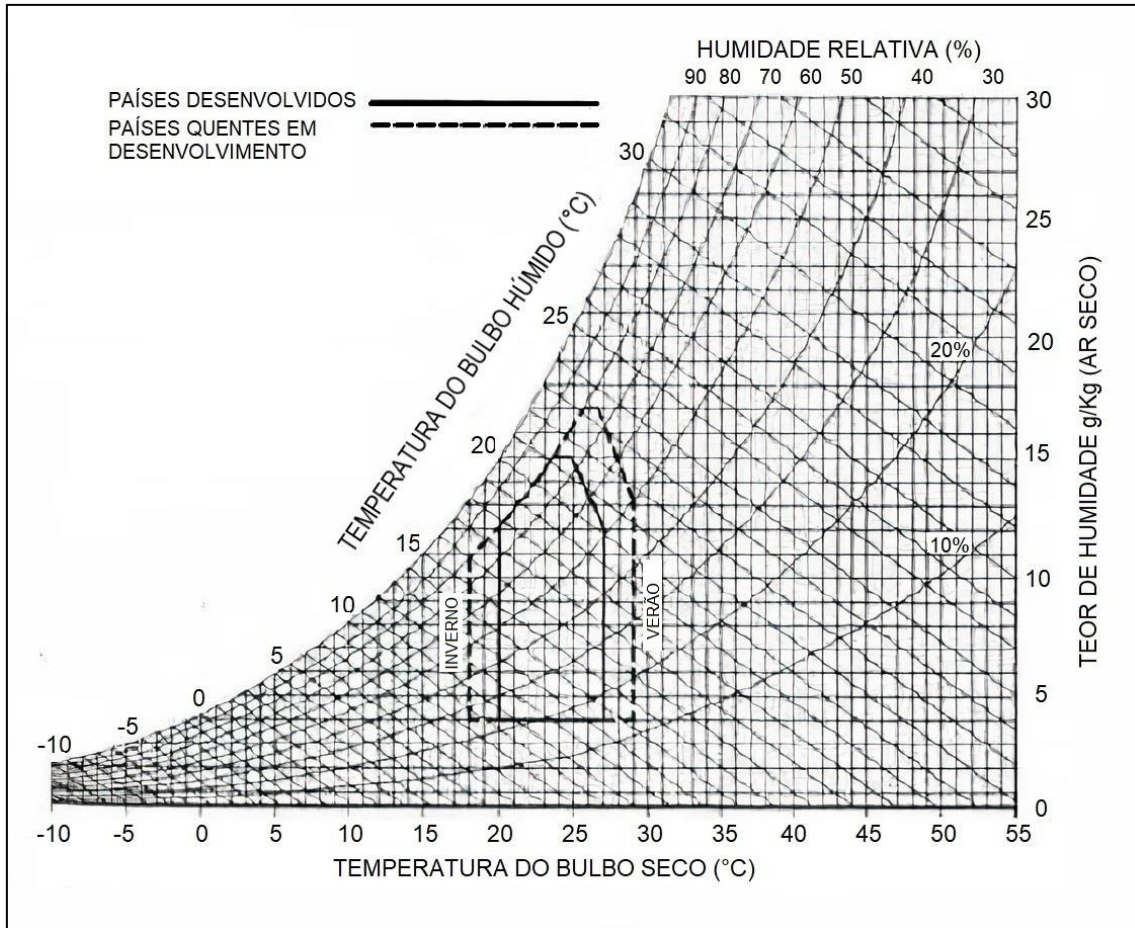


Figura 1: Limites da zona de conforto térmico em função da temperatura do ar no inverno e verão.
Fonte:(Givoni, 1992).

Existem duas maneiras distintas pelas quais a ventilação pode ser empregada para melhorar o conforto em ambientes construídos. Uma delas é diretamente, aumentar a velocidade do ar no interior através da abertura das janelas para permitir a entrada de vento, proporcionando uma sensação de resfriamento aos moradores, denominado ventilação de conforto. A outra abordagem é mais indireta, passa por ventilar o edifício apenas durante a noite, resfriando assim a massa térmica interna, desse modo, essa massa resfriada ajuda a reduzir a influência do exterior na temperatura do ar interno no dia seguinte, este conceito é conhecido como resfriamento convectivo noturno (Givoni, 1992).

2.2 Qualidade do Ar

A qualidade do ambiente interno é um conceito complexo influenciado por uma variedade de parâmetros. Esses parâmetros incluem a emissão de poluentes nos ambientes internos, a penetração de poluentes vindos do ambiente externo, reações químicas que resultam na formação de poluentes secundários, fenômenos de absorção e liberação, taxas de troca de ar e características de ventilação, bem como a temperatura do ar e umidade relativa interna e externa (Pourkiaei & Romain, 2023; Rumchev et al., 2017).

Um extenso conjunto de substâncias nocivas liberadas por materiais de construção, mobiliário e equipamentos, bem como por atividades realizadas dentro de edifícios, como a queima de combustíveis, resulta em uma variedade de problemas de saúde, incluindo desde desconforto frequente até interferência no desempenho cognitivo, relacionados à exposição a substâncias liberadas pelo metabolismo humano, como o dióxido de carbono (Satish et al., 2012).

Em 2010, um estudo divulgado pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2010) destacou que a poluição atmosférica foi responsável por 7 milhões de óbitos, sendo que metade dessas fatalidades estava relacionada à poluição do ar interior, resultante principalmente da queima de biomassa. Neste mesmo estudo, foram identificadas as fontes que contribuem para a poluição, algumas delas sendo, o cozimento de alimentos e o uso de produtos de limpeza, e de fontes externa, como as emissões provenientes dos materiais de construção (WHO, 2010).

A poluição do ar interior das residências está associada à presença de sistemas de aquecimento doméstico, tais como lareiras, fogões a lenha e salamandras, especialmente devido ao tipo de combustível utilizado. A qualidade do ambiente interno também é influenciada por outros fatores, incluindo a localização da residência, clima local e número de ocupantes (Matos et al., 2010).

Com o objetivo de reduzir efeitos negativos sobre a saúde humana, a OMS estabeleceu limites diários e anuais para certos poluentes. Para o CO foram estabelecidos limites para diferentes tempos de exposição: 100 mg m^{-3} , 35 mg m^{-3} , 10 mg m^{-3} e 4 mg m^{-3} para os intervalos de 15min, 1h, 8h e 24h respectivamente, já para a concentração de PM_{10} definiu-se o limite no período

de 24h de 45 $\mu\text{g m}^{-3}$ (WHO, 2021). O quadro a seguir informa as fontes de poluentes encontrados em ambientes internos.

Quadro 1: Contaminantes e suas Respectivas Fontes.

Fonte de poluição	Contaminantes
Impressoras, computadores, carpetes, mobiliário, produtos de limpeza, solventes e sistemas de aquecimento.	Compostos Orgânicos Voláteis (COV)
Habitantes, queima de combustíveis fósseis, (gás, aquecedores, etc.).	CO ₂
Madeira prensada, tecidos, cola, carpetes, mobiliário, papel químico.	Formaldeído
Água estagnada em sistemas de HVAC, materiais molhados e húmidos, desumidificadores.	Matéria microbiana
Emissões de veículos, combustão, fumo do tabaco.	Monóxido de carbono
Fumo, isolamento de tubagens, resíduos de água, carpetes, filtros de HVAC, limpezas, sistemas de aquecimento.	Partículas
Controle ineficaz de humidade relativa, incapacidade do edifício de compensar extremos climáticos, número de equipamentos instalados e a densidade de ocupação.	Temperatura e valores extremos de humidade
Projeto ineficaz do sistema de HVAC, alteração do sistema de funcionamento do HVAC pelos ocupantes, concepção desajustada dos espaços em avaliação.	Ventilação inadequada

Fonte: Adaptado de (Matos et al., 2010).

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE, 2021), a energia elétrica mantém-se como a fonte de energia mais utilizada nas residências, representando 46,4% do total consumido, seguida pela biomassa, que corresponde a 18,4% e do gás natural com 12,4%, sendo a cozinha o setor com consumo de energia predominante, representando 34,8% do total. As emissões provenientes da queima de combustíveis domésticos são influenciadas pela composição química do combustível utilizado e pelas condições nas quais ocorre a combustão, tais como temperatura, disponibilidade de oxigênio e duração do processo de queima (McDonald et al., 2000).

A presença de substâncias poluentes em ambientes internos, tais como material particulado, benzeno, monóxido de carbono e formaldeído, está ligada à manifestação de diversos sintomas e doenças, resultando em um aumento das taxas de doenças e mortes (Mannan & Al-Ghamdi, 2021).

2.2.1 Material Particulado (PM₁₀ e PM_{2,5})

O material particulado abrange partículas líquidas ou sólidas com diversas dimensões, composições e estruturas. As partículas primárias são aquelas emitidas diretamente por suas fontes, enquanto as partículas secundárias são formadas por meio de reações químicas complexas e outros processos físicos que ocorrem na atmosfera (DEFRA, 2024).

O PM é frequentemente utilizado como um indicador comum da poluição do ar, havendo já uma forte base de evidências sobre os impactos negativos na saúde associados à exposição a este poluente, onde os constituintes do PM incluem sulfatos, nitratos, amônia, cloreto de sódio, carbono negro, poeira mineral e água (WHO, 2022). O tamanho das partículas está diretamente ligado aos problemas de saúde que podem provocar, sendo comumente liberado a partir da queima de produtos, contendo ácidos como nitratos e sulfatos, substâncias químicas, compostos orgânicos e metais (CETESB, 2024).

O material particulado PM₁₀, sendo o tamanho do diâmetro aerodinâmico das partículas maiores ou iguais a 10 µm, constitui-se de uma mistura de partículas encontradas no ar, incluindo materiais orgânicos, inorgânicos, sólidos e líquidos de várias origens. Essas partículas são categorizadas de acordo com

seu tamanho e capacidade de penetração no sistema respiratório, podendo afetar desde as vias respiratórias superiores até os alvéolos pulmonares (ISO, 1995).

Já as PM_{2,5} são partículas como fuligem, cinzas de carbono ou fumaça, com um diâmetro igual ou inferior a 2,5 micrômetros. Elas são geradas principalmente pela combustão incompleta de combustíveis fósseis e biomassa (Harrison & Yin, 2000). Devido ao seu tamanho reduzido, essas partículas podem penetrar profundamente nos pulmões e na corrente sanguínea, representando um perigo à saúde humana em qualquer concentração.

2.2.2 Monóxido De Carbono

O monóxido de carbono é um gás sem cor e sem odor que é liberado principalmente pela combustão incompleta de combustíveis fósseis. Ele pode ser encontrado em ambientes internos e externos e é conhecido por sua capacidade de se ligar à hemoglobina no sangue, formando carboxihemoglobina, o que reduz a capacidade do sangue de transportar oxigênio para os tecidos do corpo, podendo acarretar em hipóxia tecidual (Fierro et al., 2001; WHO, 2021). O Quadro 2 mostra os principais sintomas e consequências da exposição ao CO.

Quadro 2: Principais Sintomas à exposição ao CO.

Concentração de CO (ppm)	Sintomas/Consequências
10	Assintomático.
70	Falta de ar após exercício pesado, dilatação de vasos sanguíneos cutâneos.
120	Falta de ar após exercício moderado, dor de cabeça ocasional nas têmporas.
220	Dor de cabeça, irritabilidade, fadiga, tontura, obscuridade da visão.
350-520	Dor de cabeça, confusão, colapso, desmaio na prática de exercícios.
800-1220	Inconsciência, convulsão, falha respiratória, morte em exposição prolongada.
1950	Morte rápida.

Fonte: adaptado de (Fierro et al., 2001).

As concentrações de CO no ar tendem a ser elevadas em regiões com intenso tráfego de automóveis, sendo que cerca de 60% de todas as emissões de CO são provenientes de veículos. Além disso, equipamentos de combustão, como usinas de aquecimento ou geração de energia a carvão, gás ou óleo, podem gerar CO devido a técnicas de combustão ineficientes. Processos industriais, resíduos sólidos e diversas outras fontes que também contribuem para a emissão de CO. A queima de resíduos sólidos a céu aberto, como por exemplo o resíduo doméstico, são responsáveis pelas emissões de CO provenientes desses materiais (Fierro et al., 2001).

2.2.3 Sistemas de Aquecimento

Atualmente, é comum encontrar residências tanto nos países desenvolvidos quanto nos em desenvolvimento, equipadas com sistemas de aquecimento de água e do ambiente interno. Os aquecedores a gás emitem pequenas quantidades de partículas e podem liberar níveis excessivos de óxidos de nitrogênio (NOx), aumentando os riscos de intoxicação por monóxido de carbono. Já os sistemas de aquecimento central, ao queimar combustível em caldeiras a gás, são mais limpos para o ambiente interno. Contudo, aqueles que usam diesel liberam mais material particulado, contribuindo para o aumento da poluição do ar externo e para as mudanças climáticas. Os sistemas que utilizam gás natural ou combustíveis de gás liquefeito de petróleo emitem menos poluentes, porém, ambos podem contaminar o ar interno dependendo das condições de operação e de como está sendo feita a manutenção do sistema.

Outra opção para aquecer o ambiente interno é a lareira. Segundo Foster & Garman, (2011), a lareira é um dispositivo residencial com um sistema de aquecimento por combustão, utilizado principalmente durante o inverno, podendo ser construídas de duas maneiras: abertas, com uma câmara de combustão conectada à chaminé, ou fechadas, embutidas e equipadas com uma porta frontal e um sistema de recuperação de calor para maior eficiência térmica.

Apesar dos avanços no desenvolvimento de sistemas de combustão mais limpos, ainda há uma predominância significativa de lareiras e fogões antigos na região nordeste de Portugal, resultando no aumento de emissões de poluentes

para o ar (Ferreira et al., 2012). Em Portugal estima-se que a combustão doméstica seja responsável por 16,2% das emissões totais de PM₁₀, principalmente devido ao uso de lareiras, onde que em países com invernos mais longos e severos, essas emissões de material particulado tendem a ser ainda mais expressiva (H. Gonçalves & Graça, 2004).

2.3 Enquadramento Legal

A legislação portuguesa sobre conforto térmico e qualidade do ar interior (QAI) tem evoluído significativamente ao longo dos anos, em resposta às diretrizes da União Europeia e às necessidades internas de promover ambientes saudáveis e energeticamente eficientes em edifícios não industriais.

Inicialmente, em 2002, o Ministério do Ambiente deu os primeiros passos para implementar regulamentações relacionadas à QAI. No entanto, foi apenas em 2006 que essa iniciativa ganhou efetividade, através da transposição da Diretiva 2002/91/CE para a legislação nacional, estabelecendo o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios. Este sistema visava informar os ocupantes sobre a qualidade térmica durante a construção, venda ou locação de edifícios.

Os Decretos-Leis 79/2006 e 80/2006, juntamente com a Portaria 461/2007, foram promulgados para detalhar os regulamentos sobre sistemas energéticos de climatização, padrões de qualidade do ar interior e estabelecimento de cronogramas para a certificação. Esses decretos foram fundamentais para conectar a legislação nacional com a Norma de Conforto Europeia EN 15251, fornecendo diretrizes adicionais para o projeto e operação de sistemas de climatização em edifícios.

Em 2013, ocorreram mudanças significativas com a promulgação do Decreto-Lei nº 118/2013, que estabeleceu requisitos mínimos de desempenho energético para edifícios novos e existentes. Este decreto criou o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), alinhando-se às

diretrizes europeias para aumentar a eficiência energética e reduzir as emissões de carbono.

A partir de 2016, a Comissão Europeia propôs o Pacote "Energia Limpa para todos os Europeus", com o objetivo de impulsionar a transição energética na União Europeia até 2030, alinhando-se com os compromissos do Acordo de Paris. Este pacote propõe medidas ambiciosas, incluindo inspeções regulares nos sistemas de climatização, instalação de infraestrutura para veículos elétricos e implementação de sistemas de automação para otimizar o consumo de energia.

Recentemente, o Decreto-Lei nº 101-D/2020 de 7 de dezembro estabeleceu requisitos mais rigorosos para o conforto térmico e a QAI em edifícios, visando promover ambientes saudáveis e eficientes em termos energéticos. Este decreto define requisitos mínimos de desempenho energético para a envolvente dos edifícios, bem como normas específicas para a ventilação, filtragem e renovação do ar interior, garantindo assim ambientes adequados em edifícios novos ou renovados, além de estabelecer critérios para edifícios de comércio e serviços em funcionamento. Essas medidas estão alinhadas com as iniciativas nacionais e europeias para acelerar a transição para uma economia de baixo carbono e promover a saúde e o bem-estar dos ocupantes de edifícios (Presidência do Conselho de Ministros, 2020).

3. Metodologia

O presente trabalho tem como caso de estudo residências localizadas na área urbana do Concelho de Bragança, localizado ao nordeste de Portugal continental. Segundo a classificação de Köppen, Bragança é categorizada como Csb, representando um clima temperado com invernos suaves (Classe C), verão seco (Subclasse Cs) e verão longo e fresco (Sub-subclasse Cb), já em relação a precipitação, ela segue o padrão típico do clima mediterrâneo, com uma alta concentração de chuvas durante a estação fria e pouca precipitação nos meses mais quentes, assim como a radiação solar e a insolação atingem valores máximos em julho e mínimos em dezembro, de forma semelhante à variação da temperatura (IPMA, 2010).

Em Bragança, a temperatura média mensal oscila entre 4,5°C durante o mês mais frio (janeiro) e 21,7°C no mês mais quente (julho), onde, as médias das temperaturas máximas diárias variam de 8,8°C em janeiro a 29,2°C nos meses de julho e agosto, enquanto as médias das temperaturas mínimas diárias variam de 0,2°C em janeiro a 14,2°C em julho (IPMA, 2010).

O estudo foi realizado em várias etapas, como ilustrado na figura a seguir:

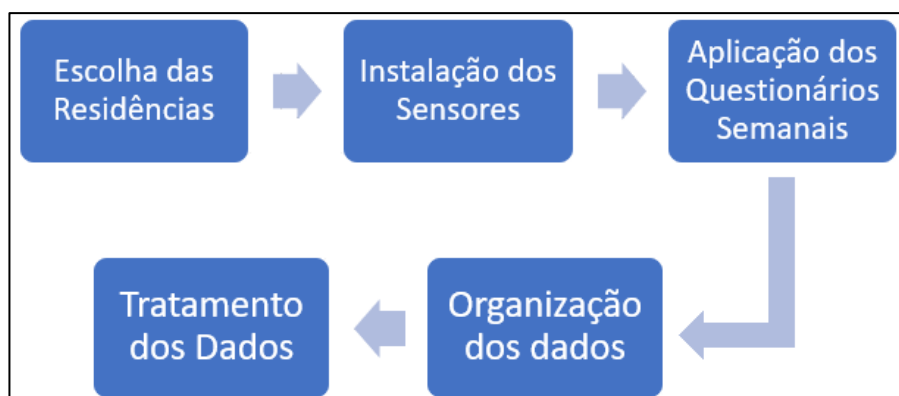


Figura 2: Esquema metodológico adotado para este estudo.

Nas moradias, residem estudantes do ensino superior do Instituto Politécnico de Bragança - IPB, com a maioria sendo estrangeiros. Após a instalação dos sensores, iniciou-se a coleta dos dados em 31 de julho de 2023 e com término no dia 29 de fevereiro de 2024. Iniciou-se também, logo em seguida, a aplicação dos questionários e análise das respostas. Os questionários

foram respondidos uma vez por semana, ao domingo, durante três momentos do dia (manhã, tarde e noite), abordando questões sobre a percepção de cada morador em relação ao conforto térmico e qualidade do ar da residência, como também, ações que foram necessárias para atingir o conforto térmico e/ou a qualidade do ar. Por fim, efetuou-se o tratamento dos dados comparando-os com as respostas dos questionários através da análise estatística, para identificar se há relação entre os dados dos sensores com a percepção dos moradores.

3.1 Descrição das Casas

A Casa 1 está localizada no Bairro da Estacada, região nordeste de Bragança. O edifício possui quatro andares com a residência localizada no terceiro andar, possui duas faces voltadas para o exterior, uma ao sul e a outra a oeste. A fachada ao sul é onde está um quarto e a sala de estar com varanda, já a fachada a oeste estão dois quartos e a cozinha. A fachada sul está exposta a uma maior incidência de radiação solar durante todo o ano, entretanto, a fachada oeste está exposta a uma reduzida radiação solar durante o outono e inverno. A residência possui ar-condicionado (Figura 3.a) com função de aquecimento em todos os quartos e na sala de estar. As janelas são de vidro simples com estores instalados no exterior em todos os cômodos.

A Casa 2 está localizada no Bairro Artur Mirandela e Seixo, região sul de Bragança. O edifício possui quatro andares com a residência localizada no terceiro andar, há duas fachadas voltadas para o exterior. A fachada leste onde estão três quartos, está exposta à radiação solar durante o período da manhã e a fachada norte onde está um quarto e a cozinha, recebe radiação solar durante o entardecer. Esta residência não possui sala de estar, há apenas uma pequena divisão na zona central do apartamento que dá acesso aos cômodos. A fachada leste recebe radiação solar durante todo o ano, variando a incidência conforme a estação do ano, entretanto, a fachada norte não recebe radiação solar direta durante o final do outono e durante o inverno. A residência possui sistema de aquecimento elétrico (Figura 3.b) em todos os cômodos. As janelas são de vidro simples com estores instalados no exterior em todos os cômodos.

A Casa 3 está localizada no Bairro do Campo Redondo, região oeste de Bragança. O edifício possui quatro andares com a residência localizada no segundo andar, apenas a face sul não está voltada para o exterior. A fachada leste onde estão três quartos está exposta à radiação solar durante as primeiras horas da manhã e a fachada oeste onde está a cozinha e um quarto recebe radiação solar durante o entardecer. Na fachada norte há uma sala de estar que contém lareira (Figura 3.c) e varanda, esta, não recebe radiação solar direta durante todo o ano, devido a outros prédios residenciais bloquearem a radiação solar. As janelas são de vidro simples com estores instalados no exterior em todos os cômodos.

Os três prédios de apartamentos foram construídos entre os anos 1980 e 2000, como identificado por Spiller, 2019 em seu estudo realizado em prédios de apartamentos localizados nas proximidades das moradias utilizadas no presente estudo. A construção dos edifícios deste período frequentemente apresenta estruturas de concreto armado, acompanhadas por paredes duplas de alvenaria na fachada externa e divisórias internas também de alvenaria, em relação ao acabamento externo, usou-se o reboco tradicional, enquanto as janelas tendem a ser de vidro simples (Spiller, 2019).



Figura 3: Equipamentos de Climatização

a) Ar-Condicionado; b) Aquecedor Residencial; c) Lareira.

3.2 Sensores

Todos os equipamentos foram desenvolvidos no âmbito do projeto EnerUSER, sendo os dados por estes recolhidos foram adequadamente transmitidos e armazenados por equipamentos informáticos e de comunicação dispostos para esse fim. Esse projeto visava monitorar e otimizar o consumo energético em residências, com o objetivo de maximizar o conforto dos moradores mantendo os custos energéticos dentro de limites aceitáveis (Gonçalves et al., 2022).

Ao lidar com a medição das condições de conforto no interior de uma residência, existem dois tipos de abordagens possíveis: Uma abordagem mais generalista, focada em valores médios representativos dos principais parâmetros de conforto, usando um conjunto de equipamentos de tamanho reduzido e pouco intrusivos; e uma abordagem mais precisa e específica, baseada no estrito

cumprimento de normativas sobre conforto térmico e poluentes ambientais, utilizando equipamentos mais volumosos (A. Gonçalves et al., 2022).

O presente estudo incorpora a primeira abordagem utilizando como base a plataforma de prototipagem rápida Arduino Mega 2560 que integra vários módulos de sensores, um módulo Wifi, um módulo de exibição de informações local e um módulo de armazenamento local. Esse sistema é capaz de medir diversas variáveis, como:

- Temperatura do ambiente (°C);
- Temperatura do Globo (°C);
- Humidade Relativa (%);
- Monóxido de Carbono ($\mu\text{g m}^{-3}$);
- Material Particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$).

3.2.1 Arduino Mega 2560

O Arduino Mega 2560 é uma placa microcontroladora baseada no ATmega2560. Possui 54 pinos de entrada/saída digital (dos quais 15 podem ser usados como saídas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de hardware), um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de alimentação, um conector ICSP, e um botão de reinicialização (ARDUINO, 2024).



Figura 4: Arduino Mega 2560

3.2.2 Sensor BME 680

Este sensor permite medir os seguintes parâmetros: temperatura do ar, humidade relativa, pressão barométrica e compostos orgânicos voláteis totais (COVT), esse sensor possui uma precisão de $\pm 3\%$ na humidade relativa, ± 1 hPa na pressão barométrica e $\pm 1,0$ °C na temperatura (Gonçalves et al., 2022).



Figura 5: Sensor BME 680.

3.2.3 Sensor SPS 30

Este sensor mede diferentes frações de material particulado na atmosfera, avaliando a concentração em número e massa de quatro frações PM_{1.0}, PM_{2.5}, PM₄ e PM₁₀. O princípio de medição envolve a dispersão de um feixe óptico quando ele intercepta o material particulado. A comunicação é estabelecida por meio de uma interface serial (Gonçalves et al., 2022).



Figura 6: Sensor SPS 30

3.2.4 Sensor SPEC CO

Este sensor mede a concentração de monóxido de carbono (CO) na envolvente do sensor. Ele opera por meio de uma interface serial e possui uma precisão de leitura de 15%, com leituras disponíveis a cada 15 segundos. O sensor tem um alcance de medição para CO de 0 a 1000 ppm, com uma resolução de 0,1 ppm (Gonçalves et al., 2022).



Figura 7: Sensor SPEC CO.

3.2.5 Miniestação de Monitorização

A figura a seguir mostra como é a miniestação de monitorização com todos os sensores instalados e funcionando. O local para instalação da miniestação nas residências foi escolhido com base na frequência de circulação ou estadia temporária dos moradores no local escolhido.



Figura 8: Miniestação de monitorização do ambiente interno.

3.3 Componentes Auxiliares

Estes componentes auxiliam no desempenho do sistema. As baterias fornecem energia independente, alimentando o sistema em momentos de queda de energia nas residências. Os visores exibem informações aos moradores, para que possam acompanhar em tempo real as informações coletadas. O cartão SD fornece a possibilidade de backup dos dados em momentos em que não há conexão com a internet. O módulo Wifi faz a ligação entre o sistema e o servidor onde os dados são armazenados para posterior análise. Desse modo, todos esses componentes se tornam cruciais para a funcionalidade do sistema.

3.4 Questionário

Foi desenvolvido um questionário para ser aplicado aos moradores das residências, com o objetivo de coletar informações sobre a percepção de conforto térmico e da qualidade do ar dos moradores em relação as suas respectivas moradias. As questões foram separadas por seções, para melhor organização do questionário e posterior análise de dados. Com questões que abordam sobre o estado físico dos moradores (Quadro 3), pretendeu-se avaliar o comportamento dos moradores no momento de responder o questionário, como forma de interpretar se o mesmo teve influência nas repostas que envolvem conforto térmico. Para este estudo, entende-se roupa pesada com camada adicional, como casaco de inverno, calça térmica, jaquetas de esqui. Em relação a roupa pesada de interior, entende-se como suéteres de lã grossa, jaquetas, calças de lã ou material grosso e casacos pesados. Em relação a roupa moderada de interior, entende-se como suéteres de lã fina, camisetas de manga longa ou blusas, calça de algodão ou espessura média e jaquetas leves. Em relação a roupa ligeira de interior, entende-se como camisetas de manga curta ou regatas, shorts, vestidos leves e roupas de malha fina.

Quadro 3: Questões sobre a percepção do estado físico dos moradores.

Questões sobre a percepção do estado físico dos moradores	Opções de respostas
Q1. Qual o local da casa onde me encontro?	<ul style="list-style-type: none">• No meu quarto;• Cozinha;• Sala de Estar
Q2. Como classificaria o nível de atividade física nos últimos 10 minutos.	<ul style="list-style-type: none">• 5 - Atividades muito pesadas;• 4 - Atividades pesadas;• 3 - Atividades moderadas;• 2 - Atividades leves;• 1 - Atividades sedentárias;
Q3. Mudou de roupa nos últimos 10 minutos?	Se sim, qual roupa trazia vestida? Se não, qual roupa tem vestida? <ul style="list-style-type: none">• 4 - Roupa pesada com camada adicional;• 3 - Roupa pesada de interior;• 2 - Roupa moderada de interior;• 1 – Roupa ligeira de interior.

Por meio das questões sobre a percepção do conforto térmico dos moradores (Quadro 4), buscou-se avaliar o quanto os moradores são impactados pela mudança da temperatura do ar interno conforme as estações do ano foram passando, desse modo, avaliando se as residências estão proporcionando condições de conforto térmico aos moradores.

Quadro 4: Questões Sobre A Percepção Do Conforto Térmico Dos Moradores.

Questões Sobre A Percepção Do Conforto Térmico Dos Moradores	Opções De Respostas
Q4. Em relação a temperatura do ambiente, como você classificaria o nível de conforto térmico neste momento?	<ul style="list-style-type: none"> • +3 Muito quente • +2 Quente • +1 Ligeiramente quente • 0 Neutro • -1 Ligeiramente frio • -2 Frio • -3 Muito frio
Q5. Considerando a velocidade do ar dentro da sua casa, como você descreveria o nível de circulação de ar?	<ul style="list-style-type: none"> • 5 - Muito alta • 4 - Alta • 3 - Moderada • 2 - Baixa • 1 - Muito Baixa
Q6. Na última semana, a temperatura do ambiente afetou o seu desempenho nas atividades diárias dentro desta habitação?	<ul style="list-style-type: none"> • 5 - Concordo totalmente • 4 - Concordo • 3 - Não concordo nem discordo • 2 - Discordo • 1 – Discordo totalmente
Q7. Como você classificaria o nível de frescor dentro da sua casa?	<ul style="list-style-type: none"> • 5 - Excelente • 4 - Boa • 3 - Aceitável • 2 - Má • 1 – Muito Má

As questões constantes do Quadro 5, abordam questões sobre a qualidade do ar no interior das habitações, desse modo, pretende-se avaliar a percepção sobre se as condições ambientais estão prejudicando ou não a saúde dos moradores.

Quadro 5: Questões Sobre A Percepção Da Qualidade Do Ar Dos Moradores.

Questões Sobre A Percepção Da Qualidade Do Ar Dos Moradores	Opções De Respostas
Q8. Com relação à qualidade do ar, como você classificaria o nível de pureza do ar dentro de sua casa?	<ul style="list-style-type: none"> • 5 - Excelente • 4 - Boa • 3 - Aceitável • 2 - Má • 1 - Muito Má
Q9. Você sente que a qualidade do ar dentro da sua casa afeta sua saúde e bem-estar?	<ul style="list-style-type: none"> • 5 - Concordo totalmente • 4 - Concordo • 3 - Não concordo nem discordo • 2 - Discordo • 1 - Discordo totalmente

Ao analisar as ações dos moradores (Quadro 6) é possível identificar padrões e preferências no uso de equipamentos e práticas que visam aprimorar o conforto térmico e a qualidade do ar de suas residências.

Quadro 6: Questões Sobre A Necessidade De Realizar Alguma Ação Por Parte Dos Moradores.

Questões Sobre A Necessidade De Realizar Alguma Ação Por Parte Dos Moradores	Opções De Respostas
Q10. Neste momento, utiliza algum equipamento para melhorar o conforto térmico?	<ul style="list-style-type: none"> • Aquecedor; • Ar Condicionado; • Ventilador; • Aquecimento a radiador; • Lareira e/ou fogão a lenha; • Não tenho equipamentos; • Tenho mais não utilizo;
Q11. Neste momento, está a desenvolver alguma das seguintes ações para a melhoria do conforto térmico e qualidade do ar?	<ul style="list-style-type: none"> • Abrir janela • Fechar janela • Abrir/Fechar estores; • Bebida quente; • Bebida fria; • Outros (Quais?)

O questionário foi criado utilizando a ferramenta online Google Formulários e enviado por aplicativos de mensagem para os moradores. O Google Formulários permitiu criar questionários de forma rápida e fácil, personalizando as perguntas de acordo com as necessidades da pesquisa. Por outro lado, aplicativos de mensagens, como WhatsApp, proporciona uma forma conveniente de distribuir os questionários aos moradores. As respostas obtidas foram codificadas de acordo com as necessidades da pesquisa, visando uma melhor compatibilidade com as funcionalidades do software. Para análise estatística dos dados coletados, utilizou-se o software SPSS, amplamente reconhecido pela sua capacidade de processar e interpretar grandes conjuntos de dados.

Para identificar possíveis diferenças entre as casas, foi utilizado o teste estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis, utilizado na comparação entre três ou mais amostras independentes, sendo adequado para amostras que não seguem uma distribuição normal. Além disso, foi realizado teste de correlação de Spearman entre as variáveis.

4. Resultados e Discussão

Ao longo deste capítulo serão apresentados os resultados que resultam da aplicação dos questionários preenchidos pelos moradores e dos dados obtidos através dos sensores colocados nas residências, assim como, das análises estatísticas aplicadas a estes dados, separadamente ou de modo complementar.

4.1 Análise do Conforto Térmico

4.1.1 Análise da Temperatura do Ar e Humidade Relativa.

Ao analisar a Figura 9, que apresenta a média das temperaturas nos dias em que o questionário foi realizado, nota-se que, nas três residências, a temperatura interna média superou a temperatura externa média. Esses resultados refletem a influência das ações realizadas pelos moradores, um assunto que será explorado ao longo da análise dos resultados. Enquanto no verão as casas 1 e 2 registraram uma média de 24°C a casa 3 registrou 25°C. No outono, todas as três casas registraram uma média de 18°C. Durante o inverno, as casas 2 e 3 registraram uma média de 14°C, enquanto a Casa 1 registrou a média de 15°C. Isso implica que o isolamento térmico e/ou os sistemas de climatização das casas não foram eficazes no inverno e outono, não sendo capaz de manter a temperatura média num nível favorável para o conforto térmico. No verão, pelo contrário, esse isolamento e/ou os sistemas de climatização mostraram-se eficazes para as condições do contexto, garantindo temperatura média favorável para o conforto térmico.

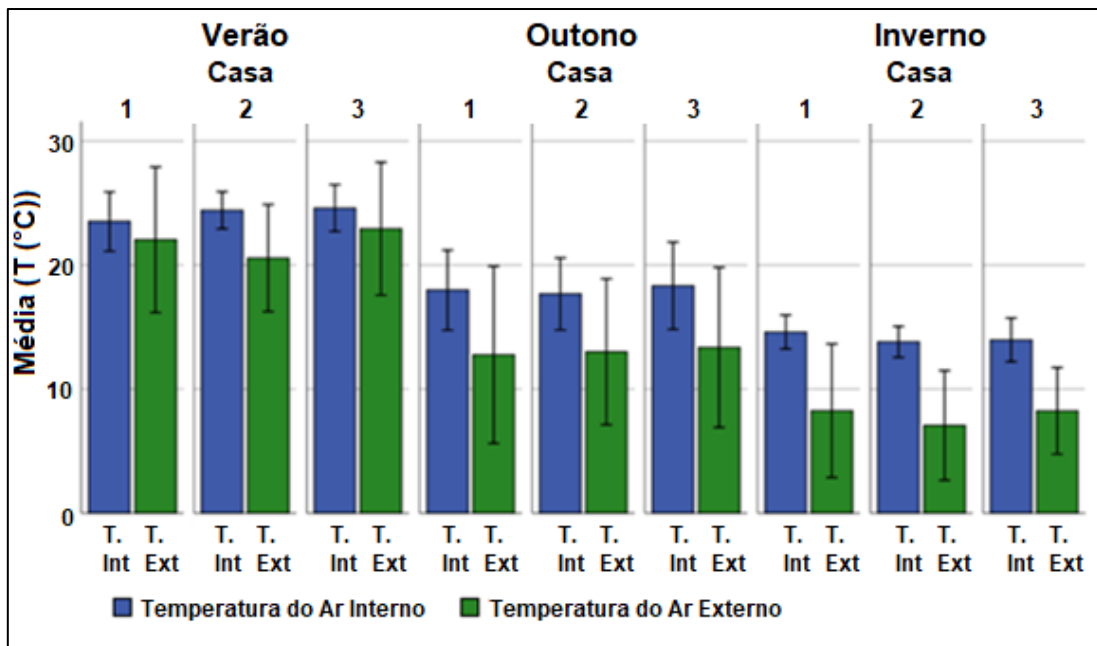


Figura 9: Comparação da média da temperatura interna e externa por casa por estação do ano em relação aos dias realizados o questionário.

A variação nos valores da média da temperatura externa para cada casa pode ser explicada pelo fato de a média ser calculada com base nos dias em que o questionário foi respondido. Isso implica que a variação pode ocorrer devido à frequência e aos momentos específicos em que os moradores preencheram o questionário. Em outras palavras, a ausência dos moradores no momento de responder o questionário contribui para uma variabilidade na média da temperatura externa registrada entre as casas.

O gráfico seguinte (Figura 10) compara as médias das temperaturas em relação a cada mês de estudo nas três casas, esses dados englobam todos os dias de estudo, não somente os dias correspondentes em que o questionário foi respondido. As médias das três casas estão bem próximas umas das outras, com a casa 2 registrando a maior média mensal com 29°C no mês de agosto e as casas 1 e 3 registrando a menor média mensal de 13°C no mês de dezembro. Já em relação à média da temperatura externa, foi registrado em agosto a maior média com 23°C e a menor média em dezembro, com 4°C.

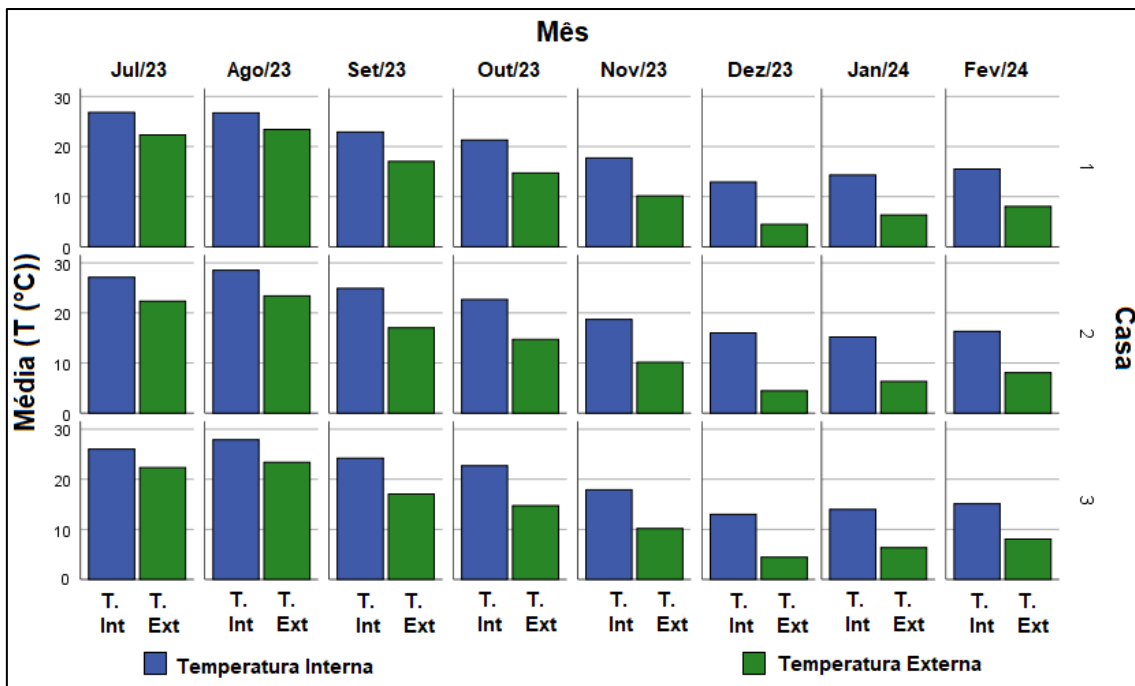


Figura 10: Comparação da média da temperatura interna e externa por casa por mês em relação a todo o período do estudo.

Observa-se um comportamento oposto da humidade relativa em relação à temperatura do ar durante os meses estudados (Figura 11). Essa variação é uma característica comum do clima mediterrâneo, onde a queda da temperatura do ar é seguida do aumento da humidade relativa. Essa relação inversa ocorre pelo fato de o ar quente ter maior capacidade de retenção de vapor de água do que o ar frio, resultando em uma menor humidade relativa. A Tabela 4 através da correlação entre as variáveis internas e externas, mostra a intensidade dessa relação, neste caso, sendo uma correlação negativa moderada.

Tabela 4: Correlação entre a temperatura do ar e umidade relativa.

	Correlação com TI	Significância da Correlação
TI	1	
Tg	0,994	0,000
HRI	-0,689	0,000
TE	0,872	0,000
HRE	-0,636	0,000

Nível de significância de 1%

HRI – Umidade Relativa Interna; **HRE** – Umidade Relativa Externa; **Tg** – Temperatura do Globo; **TI** – Temperatura do Ar Interno; **TE** – Temperatura do Ar Externo.

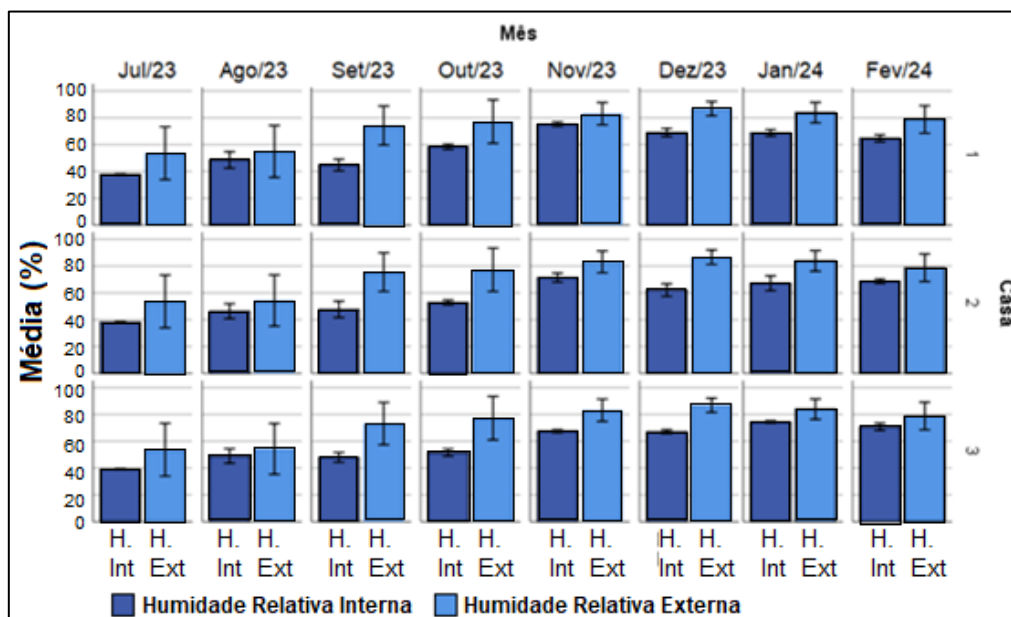


Figura 11: Comparação da média da umidade relativa interna e externa por casa por mês em relação a todo o período do estudo.

Ao analisar a variação da temperatura do ar e umidade relativa da Casa 1 para todo o período de estudo (Figura 12), é possível observar que ao longo do verão e começo do outono, na maior parte do tempo as temperaturas do ar

registradas estiveram dentro do limite da zona de conforto térmico. No entanto, a partir da metade do mês de outubro, as temperaturas do ar se mantiveram na maioria dos dias, abaixo do limite de conforto térmico até o término da pesquisa.

Durante a maior parte do estudo, a umidade relativa permaneceu dentro dos parâmetros ideais para o conforto térmico (20 – 80%). No entanto, no começo do mês de agosto quando a temperatura do ar esteve fora da zona de conforto térmico, o mesmo acontece com a umidade relativa para esse mesmo período. Durante os meses mais frios, observou-se períodos em que a umidade relativa esteve acima da zona de conforto. Tanto a baixa umidade relativa como elevada umidade relativa, podem representar riscos para a saúde dos residentes.

Alguns moradores relataram que, durante o verão, sentiram desconforto devido à baixa umidade relativa do ar. Durante esses períodos, relataram coceira nos olhos, constante sensação de garganta seca e, em alguns casos, sangramento nasal. Já no outono e inverno, relataram momentos de condensação nas paredes e janelas e formação de mofo em diversos cômodos da casa.



Figura 12: Histórico da temperatura do ar e humidade relativa da Casa 1.

Ao analisar a variação da temperatura do ar e humidade relativa da Casa 2 para todo o período de estudo (Figura 13), constata-se que no verão as temperaturas do ar estiveram durante vários dias acima da zona de conforto e a partir da metade do mês de outubro, nota-se que as temperaturas do ar se mantiveram abaixo do limite de conforto térmico durante a maioria dos dias até o término da pesquisa.

Assim como ocorrido na Casa 1, durante a maior parte do estudo a humidade relativa permaneceu dentro dos parâmetros ideais para o conforto térmico (20 – 80%). No entanto, em alguns dias, a humidade relativa variou tanto abaixo quanto acima desses limites. Não houve relato por parte dos moradores em relação ao desconforto causado pela baixa humidade relativa. Também não houve relatos sobre formação de mofo nos cômodos e acontecimento de condensação nas paredes e janelas.

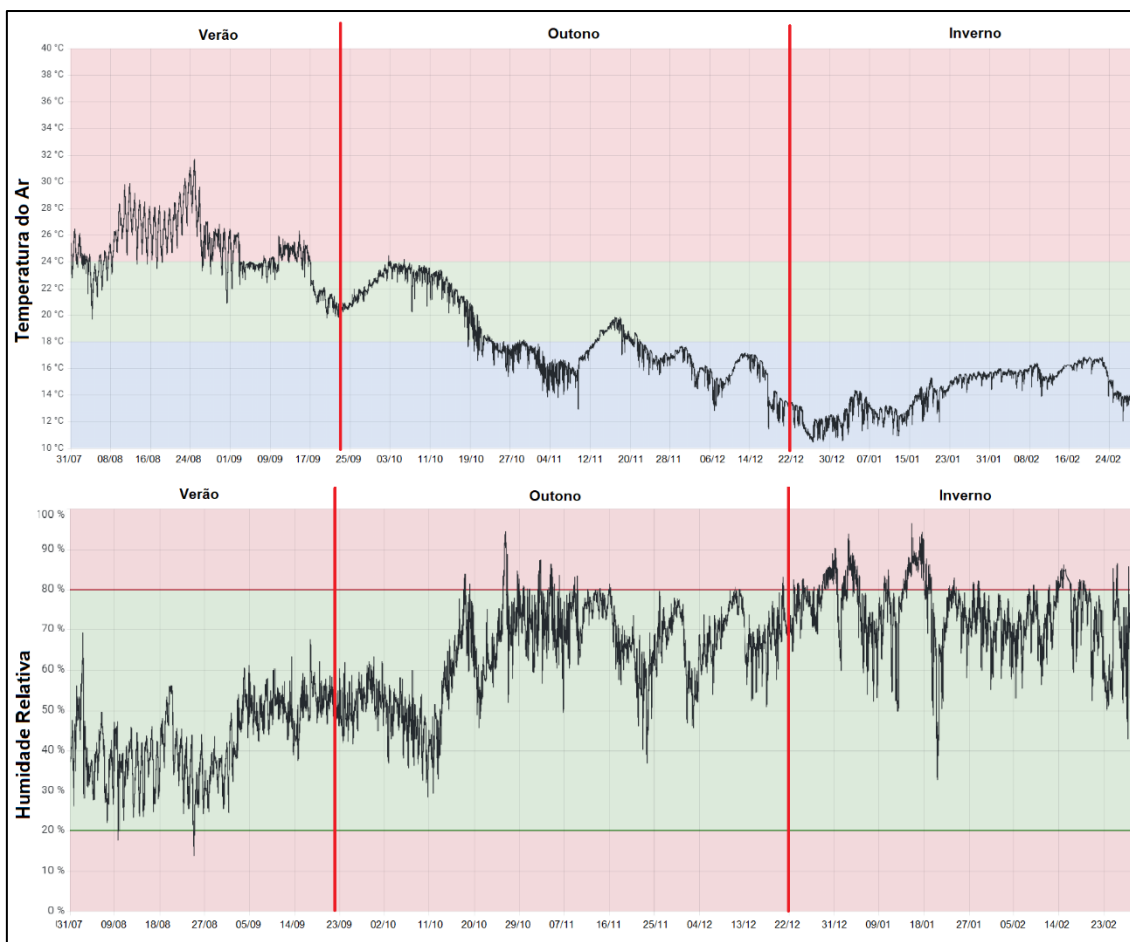


Figura 13: Histórico da temperatura do ar e humidade relativa da Casa 2.

Ao analisar a variação da temperatura do ar e humidade relativa da Casa 3 para todo o período de estudo (Figura 14), é possível observar que no verão as temperaturas do ar estiveram durante grande parte dos dias acima da zona de conforto e a partir da metade do mês de outubro, observa-se que as temperaturas do ar se mantiveram abaixo do limite de conforto térmico durante a maioria dos dias até o término da pesquisa. A variação na temperatura do ar ocorrida no começo do inverno, se dá pelo uso da lareira durante várias horas, como relatado pelos moradores.

Assim como ocorrido nas outras casas, durante a maior parte do estudo a humidade relativa permaneceu dentro dos parâmetros ideais para o conforto térmico (20 – 80%). No entanto, em alguns dias, a humidade relativa variou acima do limite de 80%. Foram relatados momentos de condensação nas paredes e formação de mofo em diversos cômodos da casa.

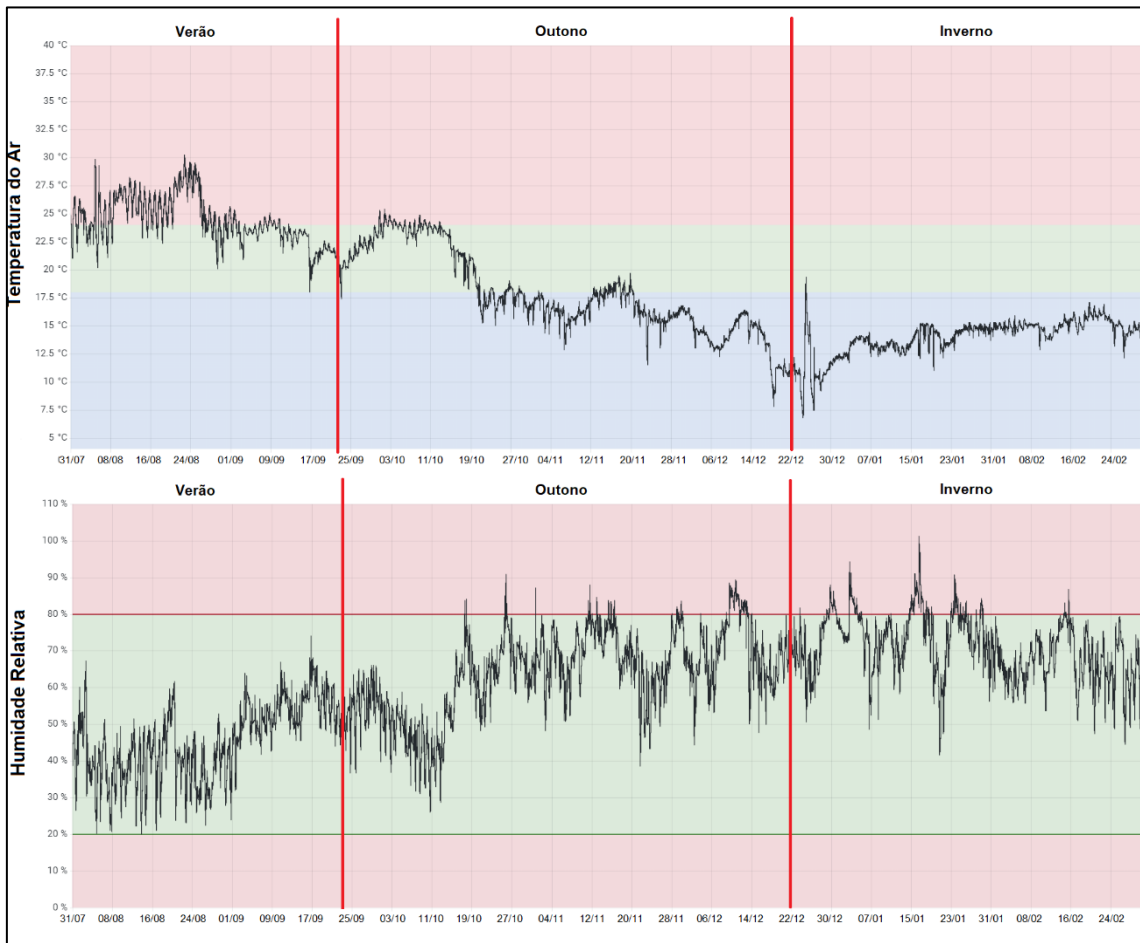


Figura 14: Histórico da temperatura do ar e humidade relativa da Casa 3.

A Tabela 5 mostra a análise descritiva das três casas em relação ao verão, informando os mínimos e máximos da temperatura do ar e humidade relativa, tanto externa quanto interna, assim como a média geral e o desvio padrão. A Casa 1 apresentou o maior valor para a HRI máxima, enquanto a Casa 2 apresentou o menor valor para HRI mínima. A Casa 2 apresentou maior valor de TI máxima enquanto a Casa 1 apresentou o menor valor para TI mínima. A Casa 3 apresentou valores intermediários para as duas variáveis.

Tabela 5: Análise descritiva das três casas em relação a umidade relativa e temperatura do ar durante o verão.

	VARIÁVEIS	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	SD
CASA 1	HRI	17,1%	80,90%	47,31%	11,52%
	HRE	17%	87%	62%	19,91%
	TI	16,1°C	31,2°C	23,31°C	2,57°C
	TE	6,5°C	39,3°C	20,64°C	6,38°C
CASA 2	HRI	14%	69,30%	42,15%	9,15%
	HRE	17%	87%	62%	19,91%
	TI	19,7°C	31,7°C	25,10°C	2,13°C
	TE	6,5°C	39,3°C	20,64°C	6,38°C
CASA 3	HRI	20,1%	74,10%	44,78 %	9,91%
	HRE	17%	87%	62%	19,91%
	TI	18°C	30,3°C	24,54°C	2,05°C
	TE	6,5°C	39,3°C	20,64°C	6,38°C

A Tabela 6 mostra a análise descritiva das três casas em relação ao outono, informando os mínimos e máximos da temperatura do ar e umidade relativa, tanto externa quanto interna, assim como a média geral e o desvio padrão. A Casa 2 teve o maior valor para a HRI máxima, enquanto a Casa 1 teve o menor valor para HRI mínima. A Casa 1 teve maior valor de TI máxima enquanto a Casa 3 apresentou o menor valor para TI mínima.

Tabela 6: Análise descritiva das três casas em relação a umidade relativa e temperatura do ar durante o outono

	VARIÁVEIS	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	SD
CASA 1	HRI	25,40%	91,60%	66,10%	10,89%
	HRE	6,10%	92%	60,46%	32,89%
	TI	10,1°C	26,00°C	17,39°C	3,16°C
	TE	-2,4°C	30,8°C	11,16°C	6,45°C
CASA 2	HRI	28,60%	94,60%	63,65%	11,16%
	HRE	6,10%	92%	60,46%	32,89%
	TI	11,5°C	24,5°C	18,43°C	2,93°C
	TE	-2,4°C	30,8°C	11,16°C	6,45°C
CASA 3	HRI	26,1%	91%	63,15%	11,41%
	HRE	6,10%	92%	60,46%	32,89%
	TI	7,8°C	25,4°C	18,07°C	3,64°C
	TE	-2,4°C	30,8°C	11,16°C	6,45°C

A Tabela 7 Tabela 5 mostra a análise descritiva das três casas em relação ao inverno, informando os mínimos e máximos da temperatura do ar e umidade relativa, tanto externa quanto interna, assim como a média geral e o desvio padrão. Desse modo, Casa 3 apresentou o maior valor para a HRI máxima, enquanto a Casa 2 apresentou o menor valor para HRI mínima. Em relação à TI das casas, a Casa 1 apresentou o maior valor máximo enquanto a Casa 3 apresentou o menor valor mínimo.

Tabela 7: Análise descritiva das três casas em relação a humidade relativa e temperatura do ar durante o inverno

	VARIÁVEIS	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	SD
CASA 1	HRI	37,1%	94,3%	70,33%	7,66%
	HRE	31%	92%	82,56%	27,65%
	TI	9,38°C	18,4°C	14,29°C	2,10°C
	TE	-3,9°C	18,4°C	6,47°C	4,60°C
CASA 2	HRI	33%	96,5%	73,48%	8,50%
	HRE	31%	92%	82,56%	27,65%
	TI	10,5°C	16,9°C	14,20°C	1,61°C
	TE	-3,9°C	18,4°C	6,47°C	4,60°C
CASA 3	HRI	41,70%	97,4%	70,99%	8,19%
	HRE	31%	92%	82,56%	27,65%
	TI	6,8°C	19,4°C	13,93°C	1,63°C
	TE	-3,9°C	18,4°C	6,47°C	4,60°C

4.1.2 Análise da Percepção de Conforto Térmico

Analisando os dados de temperatura do ar e humidade relativa para as três casas durante o verão (Figura 15), outono (Figura 16) e inverno (Figura 17), de acordo com os dias em que o questionário foi respondido, foi possível identificar a zona de conforto térmico para as três casas. Foi utilizado o limite definido por Givoni, (1992) na Figura 1, para países desenvolvidos e em ambientes sem movimentação de ar com a temperatura do ar no verão definida entre 20 – 27°C , outono entre 19 - 26°C e inverno entre 18 – 25°C e a humidade relativa do ar entre 20 – 80%.

No verão constata-se que a temperatura do ar está distribuída predominantemente entre 20 - 28°C nas três casas, com alguns pontos estando acima do limite superior do conforto térmico. Em relação a humidade relativa, as casas 1 e 3 apresentam todos os pontos distribuídos entre 20 - 70% e a Casa 2 com valores entre 20 – 60%. Desse modo, as três casas apresentam uma distribuição de dados com a maioria os pontos estando dentro da zona de conforto térmico.

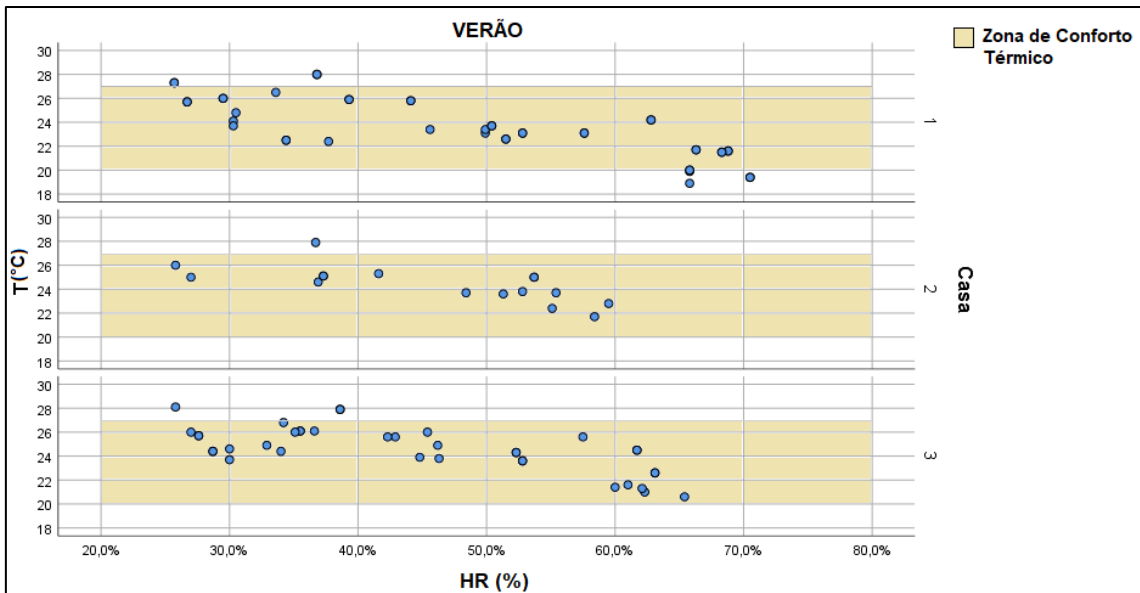


Figura 15: Zona de Conforto Térmico para as três casas durante o verão.

No outono verifica-se que a temperatura do ar está distribuída principalmente entre 15-25°C nas três casas. Em relação a humidade relativa, a três casas apresentam a maioria dos pontos distribuídos entre 40-80% com alguns pontos acima da percentagem ideal e apenas um abaixo. Desse modo, as três casas apresentam uma distribuição de dados com a maioria os pontos estando abaixo da zona de conforto térmico.

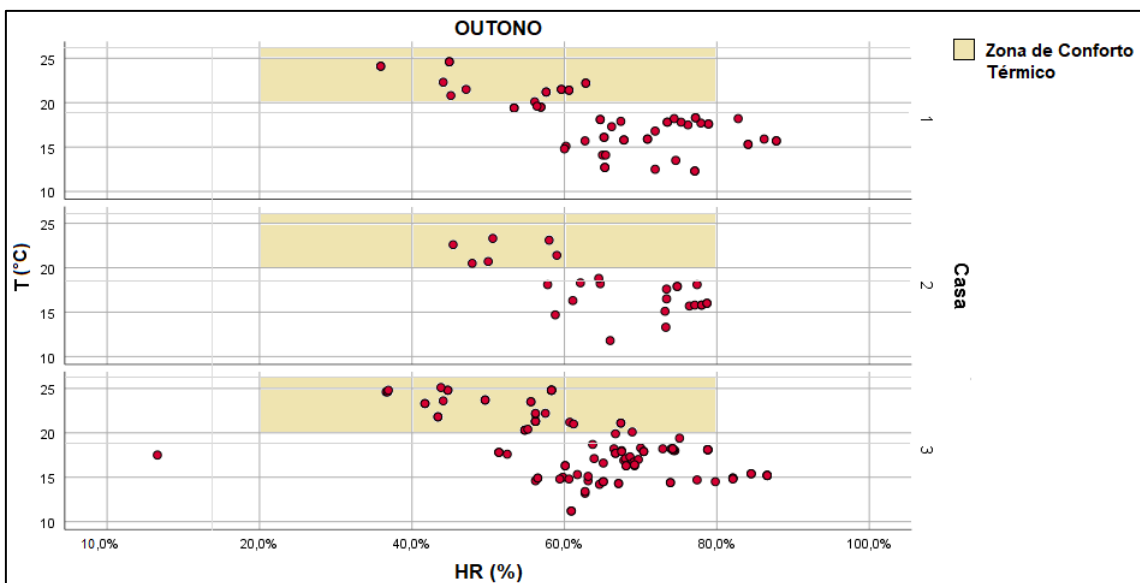


Figura 16: Zona de Conforto Térmico para as três casas durante o outono.

No inverno observa-se que a temperatura do ar está distribuída majoritariamente entre 10-15°C na Casa 1, já para a Casa 2 e Casa 3 ficou entre 5°C-15°C. Em relação a humidade relativa, a três casas apresentam a maioria dos pontos distribuídos entre 60-80% com alguns pontos acima da percentagem ideal. Desta forma, as três casas apresentam uma distribuição de dados com todos os pontos estando abaixo da zona de conforto térmico.

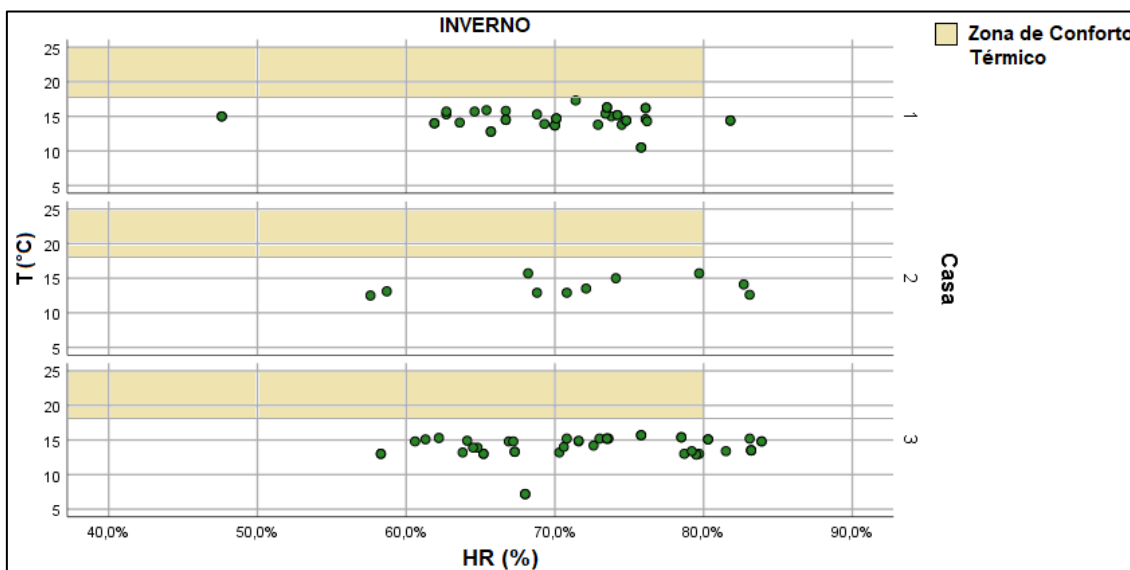


Figura 17: Zona de Conforto Térmico para as três casas durante o inverno.

Foi realizado o teste de Kruskal-Wallis para verificar se há diferenças entre as casas, desse modo, foram obtidos valores de p-value superior a 0,05 para as três casas, indicando que não há diferenças nos padrões de distribuição da temperatura do ar e da humidade relativa ao longo das estações do ano. No verão e outono, observa-se uma dispersão significativa dessas variáveis. À medida que o inverno se aproxima e a variação na temperatura do ar e humidade relativa diminui, nota-se uma redução na amplitude dos valores.

No diagrama de caixa (Figura 18) é possível observar a percepção de conforto térmico dos moradores em relação às estações do ano. No verão, com a média da temperatura do ar interno próxima aos 25°C, a percepção dos moradores esteve próxima da neutralidade. Essa percepção é consistente com as temperaturas internas que permanecem dentro da faixa de conforto térmico, oferecendo um ambiente agradável para os moradores.

Já no outono, nota-se uma percepção de conforto abaixo da neutralidade, com a mediana indicando uma sensação de ligeiramente frio. Esse resultado pode ser atribuído ao fato de que, durante o outono, as temperaturas do ar interno começam a cair, muitas vezes saindo da zona de conforto. A variabilidade nas respostas dos moradores também aumenta, refletindo uma maior inconstância na percepção das condições térmicas internas durante essa estação.

No inverno, os valores de conforto térmico estão ainda mais abaixo de ligeiramente frio, indicando um desconforto térmico mais acentuado. A mediana baixa sugere que as temperaturas do ar frequentemente ficam abaixo da zona de conforto.

As percepções são coerentes com os valores de temperatura do ar dentro e fora da zona de conforto térmico e indicam a necessidade de intervenções para melhorar o conforto térmico nas residências. A implementação de um sistema de aquecimento eficiente, pode contribuir para manter as temperatura do ar dentro da zona de conforto durante os meses em que as temperaturas do ar estão abaixo do limite. Além disso, a adaptação dos hábitos dos moradores às condições sazonais podem ser métodos complementares para alcançar um ambiente interno mais confortável.

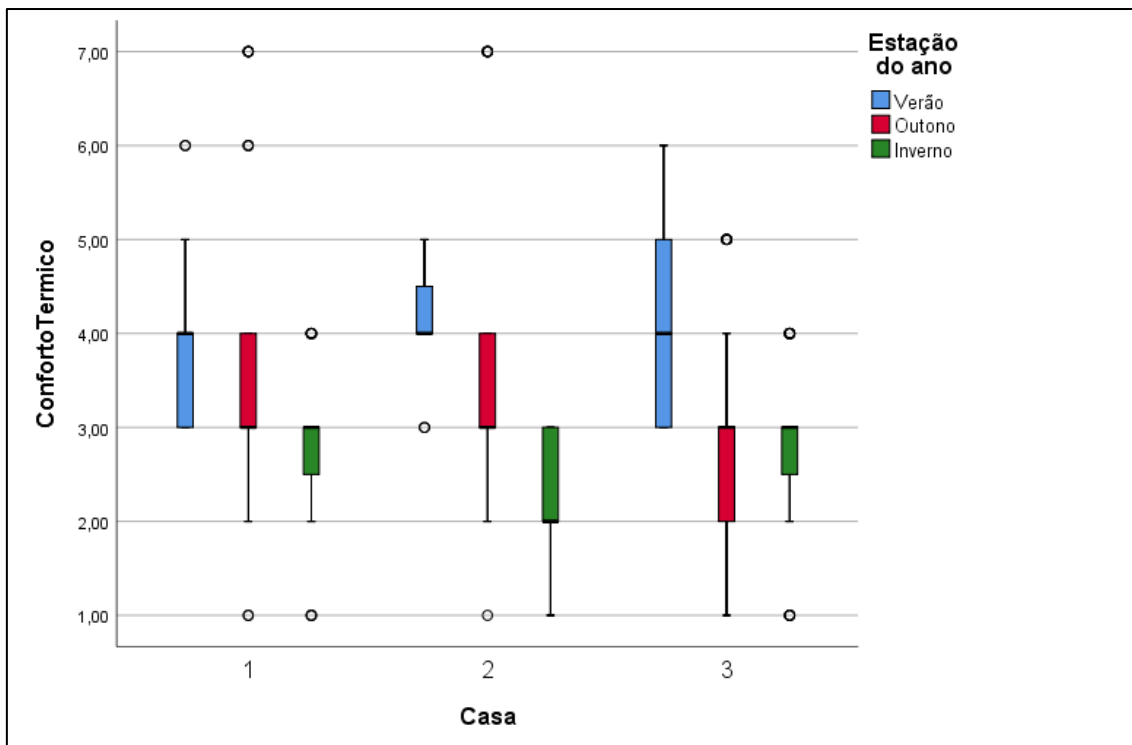


Figura 18: Percepção de conforto térmico dos moradores por casa por estação do ano.

1-Muito Frio, 2-Frio, 3-Ligeiramente Frio, 4-Nem frio nem calor, 5-Ligeiramente Quente, 6-Quente, 7-Muito Quente.

Foi realizado o teste de Kruskal-Wallis para avaliar as diferenças na percepção de conforto térmico entre as casas, desse modo, foi obtido o p-value inferior a 0,001, indicando que a percepção de conforto térmico é diferente nas diferentes casas. A diferença na percepção de conforto térmico entre as casas pode estar relacionada às mudanças comportamentais por parte dos moradores, assim como a facilidade de adaptação de cada indivíduo (Brager & De Dear, 1998). Resultados semelhantes foram observados por Xiong et al., (2019), onde há diferença na percepção e aceitabilidade térmica dos moradores em condições ambientais semelhantes.

4.1.3 Análise do Local de Permanência dos Moradores.

Ao observar os locais de maior permanência dos moradores em relação as estações do ano (Figura 19), nota-se que em todas as casas o local de

preferência foi o próprio quarto. Conforme relatado pelos moradores, há preferência pela privacidade e não se sentem compelidos a socializar constantemente. Em um estudo realizado por Poria & Oppewal, (2002) foi analisado que os estudantes do ensino superior dão preferência a quartos individuais do que compartilhados, mesmo significando ter que pagar mais pelo quarto. Outro fator observado por esse mesmo autor, foi de que a quantidade de moradores na mesma residência afeta a escolha do quarto.

Os residentes da Casa 1 relataram utilizar a sala de estar durante períodos de exposição solar, aproveitando para se aquecer e concluir atividades pendentes. Na Casa 3 durante o verão, os moradores utilizaram a sala de estar nos horários em que seus respectivos quartos estavam expostos à radiação solar, assim, permanecendo no local até os quartos estarem numa temperatura do ar agradável, já no outono, fez-se uso da sala de estar nos momentos em que os moradores socializavam em frente à lareira em algumas noites frias.

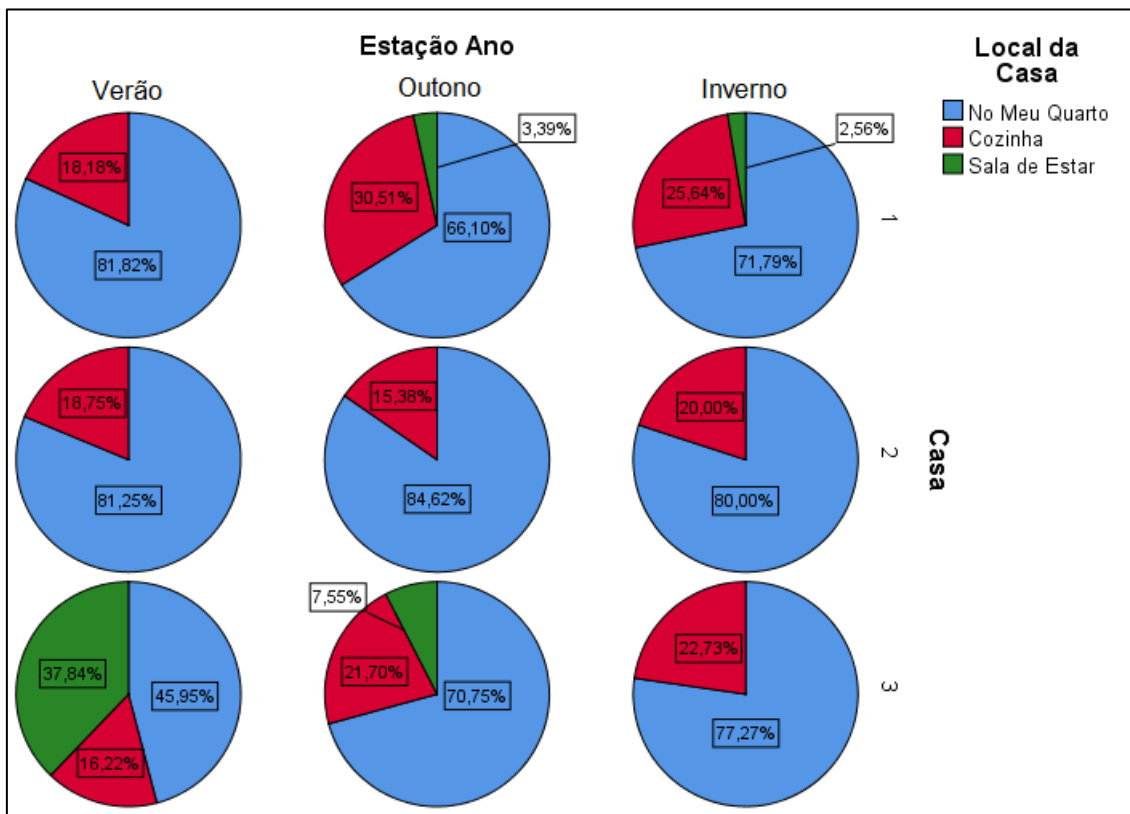


Figura 19: Local da casa onde os moradores passavam maior parte do tempo.

4.1.4 Análise da Escolha de Vestimenta

Ao considerar as variações sazonais e as necessidades de conforto térmico, a seleção de roupas adequadas torna-se ainda mais relevante. No outono e inverno com a diminuição das temperaturas do ar, recorre-se às vestimentas mais apropriadas. Essa mudança de hábito é representada na Figura 20, que mostra a mudança da escolha da vestimenta, de ligeira de interior no verão para pesada de interior no inverno.

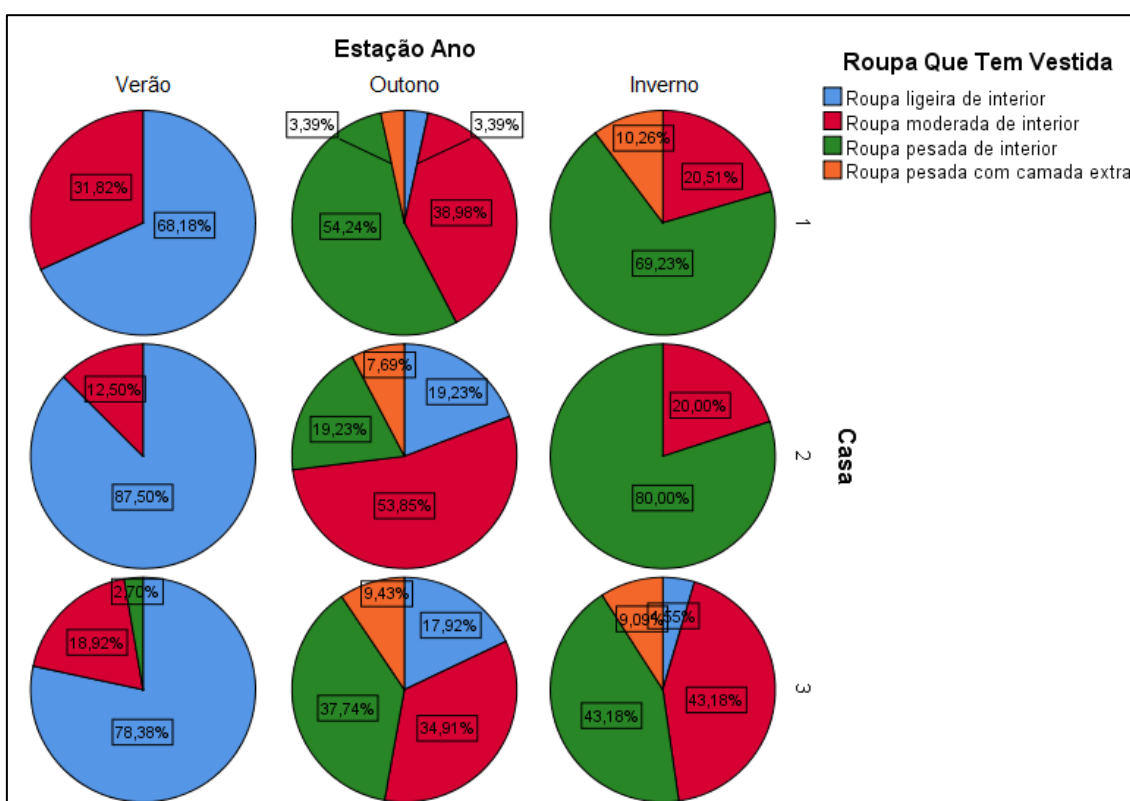


Figura 20: Qual roupa os moradores tem vestida em relação a estação do ano.

Essa escolha de vestimenta também é observada em um estudo realizado por Yin et al., (2023) em que os moradores recorreram às vestimentas mais pesadas para melhorar a sensação de conforto térmico, e mesmo em situações em que equipamentos, como o ar-condicionado, eram utilizados para aumentar a temperatura do ar interno, houve a necessidade de utilizar roupas pesadas de interior em decorrência das temperaturas do ar ainda continuarem abaixo da

zona de conforto térmico. Isso aconteceu pelo motivo de os moradores não utilizarem o equipamento por longos períodos, pelo fato de que isso aumentaria muito os gastos com energia. A mudança do nível de vestimenta também vai depender da sensibilidade às mudanças térmicas de cada indivíduo, como observado por Shao & Jin, (2020), em que 48% dos moradores necessitaram de roupas mais pesadas para melhorar a sensação de conforto térmico.

A relação entre o nível de vestimenta e a percepção de conforto térmico é apresentada na Figura 21. O teste de Kruskal-Wallis aplicado para avaliar se há diferenças entre a escolha de vestimenta para os diferentes níveis de sensação térmica resultou em um p-value inferior a 0,001, indicando que há diferença na escolha da vestimenta para os diferentes níveis de sensação térmica. Essa diferença se dá pela necessidade de se adaptar à sensação térmica do momento. Roupas mais pesadas conforme a sensação térmica tende à muito frio (-3) e roupas mais leves quando a sensação térmica tende para a percepção de muito quente (+3).

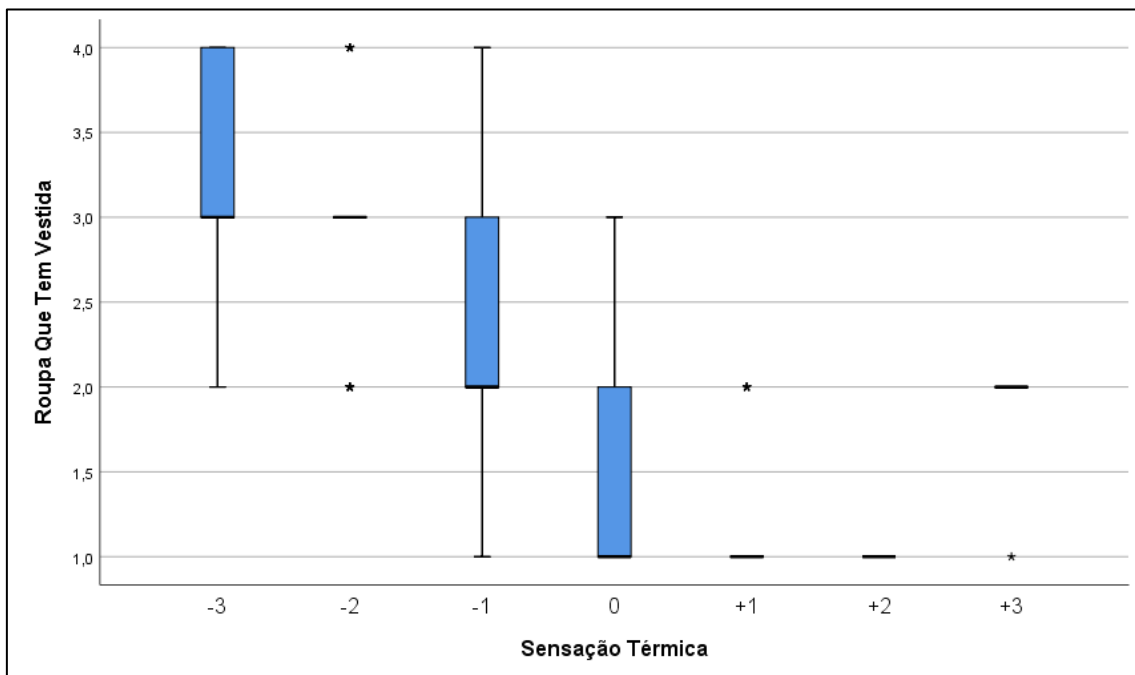


Figura 21: Gráfico Boxplot da relação entre o nível de vestuário (CLO) e a percepção de conforto térmico.

- 4 – Roupa pesada com camada adicional; 3 – roupa pesada de interior;
- 2 – roupa moderada de interior; 1 – Roupa leve de interior

4.1.5 Análise das Ações Realizadas pelos Moradores

Ao observar a Figura 22 é possível identificar quais ações foram tomadas pelos moradores durante os meses de estudo, nos dias em que o questionário foi realizado. O ato de fechar os estores desempenha um papel significativo na manutenção do conforto térmico do ambiente. Durante o verão, ao fechar os estores nos períodos de maior incidência de radiação solar direta sobre a residência é possível evitar o aquecimento excessivo do interior. Em seu estudo Kang et al., (2011), observou que com a instalação de estores, houve diminuição da radiação solar incidente no cômodo, reduzindo a temperatura do ar interno e também o consumo de energia elétrica, proveniente do uso de ar-condicionado.

Durante o outono e inverno, fechar totalmente os estores reduz a troca de calor com o ambiente externo, que é intensificada devido aos ventos (Oleskowicz-Popiel & Sobczak, 2014). Dessa forma, essa medida pode contribuir para a redução da necessidade de uso de equipamentos de aquecimento durante longos períodos, contribuindo para redução dos gastos com energia.

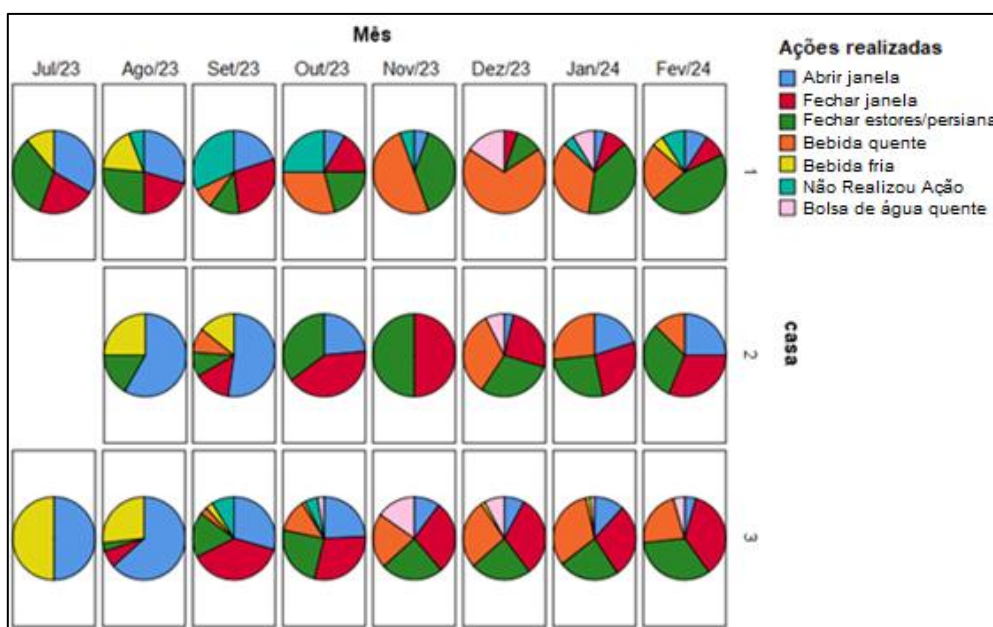


Figura 22: Ações realizadas pelos moradores para melhorar o conforto térmico.

Uma ação que pode ser executada em conjunto com as demais é o consumo de bebidas. No verão em decorrência de elevadas temperaturas do ar, recomenda-se manter uma hidratação regular, entretanto, a ingestão de bebidas frias contribui para uma breve sensação de frescor. Já no inverno, para combater as temperaturas mínimas, a ingestão de bebidas quentes auxilia em aumentar a temperatura corporal por mais tempo e melhorar a sensação de conforto térmico. Em um estudo realizado por Shao & Jin, (2020), foi identificado que 90% dos moradores optam por aumentar a intensidade do aquecimento residencial, 24% utilizam mais que um equipamento de aquecimento e que pelo menos 50% dos moradores realizam alguma ação combinada, como ingerir bebida quente e fechar a janela, para melhorar a sensação de conforto térmico. Além disso, a utilização de bolsa de água quente pode contribuir na manutenção térmica durante o período de sono, embora tenha sido uma ação pouco utilizada pelos moradores.

A não realização de alguma ação pode significar que os moradores estavam confortáveis naquele momento, ou que optaram por não realizar alguma ação para melhorar o conforto térmico ou a qualidade do ar. Nos dias mais frios, a não realização pode ser compensada pela adição de roupas, desse modo contribuindo para a redução dos gastos com energia ou na compra de equipamentos.

4.1.6 Análise da Utilização de Equipamentos pelos Moradores

Os gráficos a seguir (Figura 23Figura 24) apresentam quais equipamentos foram utilizados pelos moradores para melhorar a sensação de conforto em cada estação do ano. A análise estatística não paramétrica ao nível de significância de 5% mostra que não há diferença na escolha de equipamentos entre as percepções de muito frio (-3) e frio (-2) com valor de significância de 0,512, mas há diferença entre as percepções de nem frio nem calor (0) ligeiramente quente (+1) com valor de significância de 0,000. Já entre as percepções de muito quente (+3) e quente (+2) com valor de significância de 0,066 não houve diferença na utilização de equipamentos.

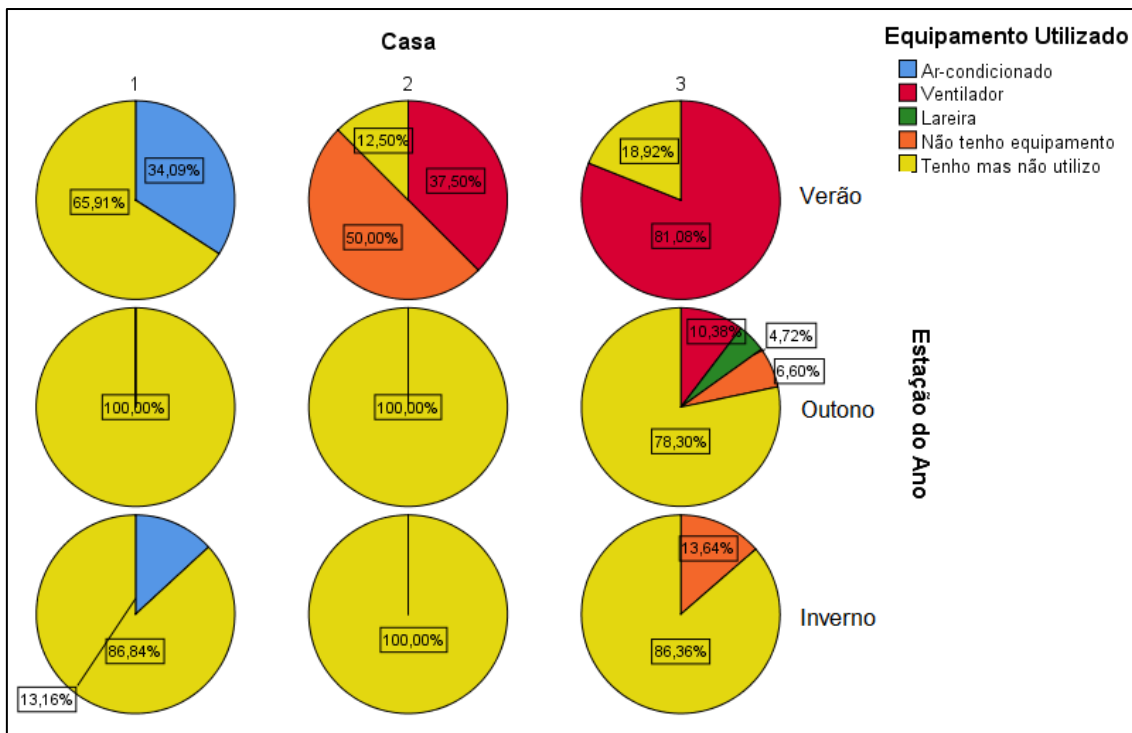


Figura 23: Uso de equipamentos dos moradores de cada casa por estação do ano.

Nota-se que a maioria dos moradores possui algum equipamento, mas prefere não o utilizar, isso pode ser decorrente da falta de necessidade, ou pelo fato do equipamento fazer uso de energia, acarretando um acréscimo nas despesas mensais, como relatado pelos moradores da Casa 2, que não fizeram uso do sistema de aquecimento residencial. Tal consequência foi observada por Tweed et al., (2014) em seu estudo, onde foi registrado um consumo elevado de energia para o equipamento de aquecimento durante cinco dias.

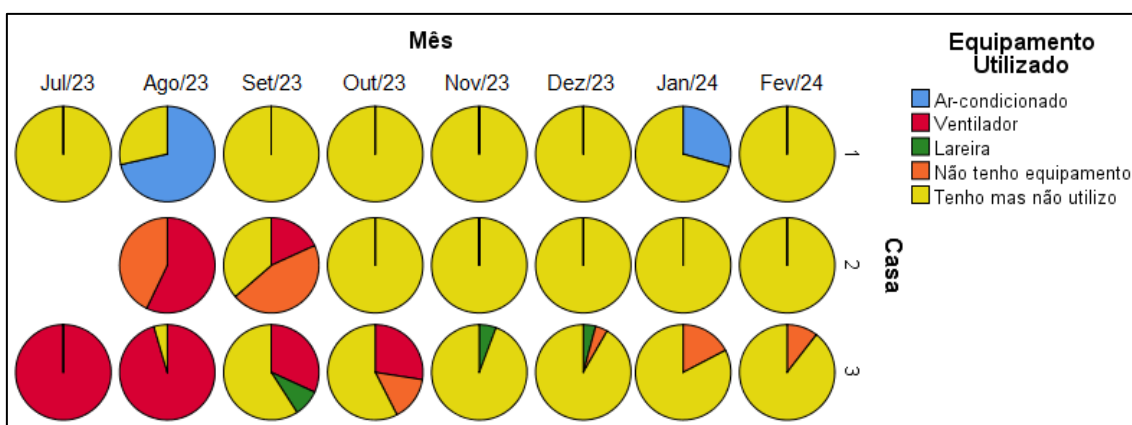


Figura 24: Uso de equipamentos dos moradores de cada casa por mês.

A flexibilidade do ar-condicionado permitiu que os moradores da Casa 1 o utilizassem tanto no verão quanto no inverno, para ajustar as condições de conforto térmico. O uso de ar-condicionado para melhorar a sensação de conforto térmico também foi observado por Yin et al., (2023), onde o equipamento era utilizado poucas horas durante o período diurno, sendo à noite, antes de dormir o momento de maior frequência. Nesse mesmo estudo, notou-se que o ar-condicionado também era utilizado para aumentar a temperatura do ar e como consequência diminuindo a umidade relativa do ambiente interno, que no inverno atingia valores de até 90%, similares ao encontrado em alguns momentos nos valores das casas deste estudo.

4.1.7 Análise Do Grau De Concordância Em Relação Ao Efeito Da Temperatura Do Ar No Ambiente Interno

A análise do grau de concordância sobre o desempenho nas atividades rotineiras (Figura 25) ilustra a percepção dos residentes em relação ao ambiente interno de suas residências. Durante o período de estudo, observou-se que em 53,28% das ocasiões, os moradores afirmam que a temperatura do ar teve um impacto negativo no seu desempenho na realização das atividades cotidianas. Em 18,64% dos casos, os moradores demonstraram neutralidade em relação a temperatura do ar, ou seja, a sensação de desconforto não impactou na realização das atividades. Enquanto em 28,08% das ocasiões, a temperatura do ar não teve influência em seu desempenho, isto é, que estavam confortáveis em realizar alguma tarefa rotineira naquele momento.

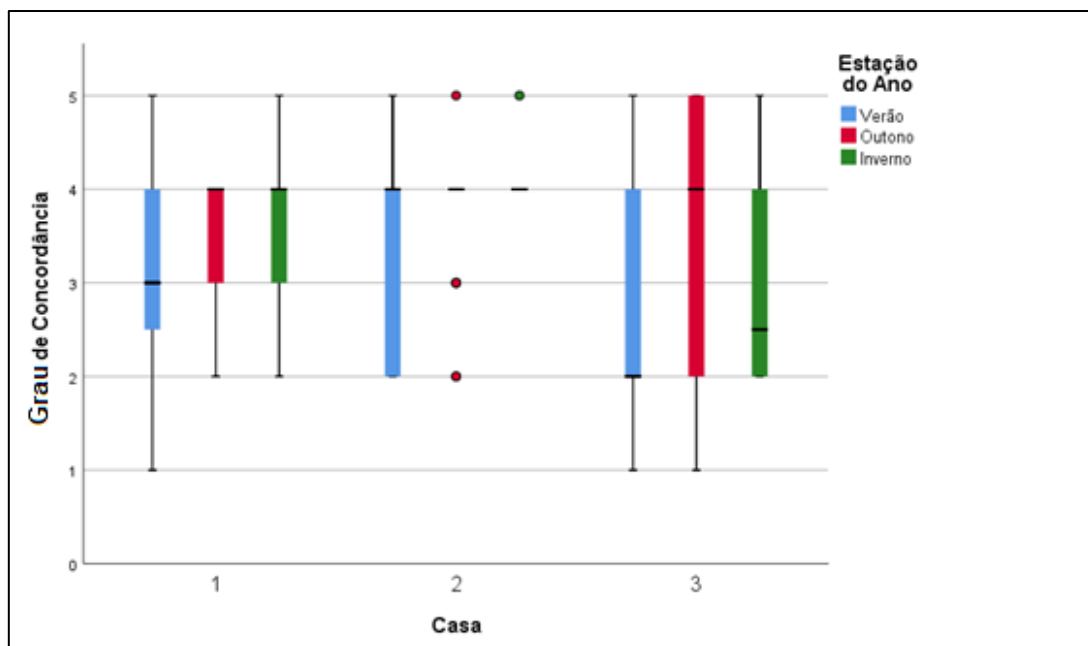


Figura 25: Grau de concordância em relação ao efeito da temperatura do ar do ambiente interno sobre o desempenho nas atividades rotineiras.

5-Concordo Totalmente, 4-Concordo, 3-Não Concordo Nem Discordo, 2-Discordo, 1-Discordo Totalmente.

A análise da Figura 26 revela que elevadas temperaturas do ar no verão e baixas temperaturas do ar no inverno são percebidas como prejudiciais ao desempenho nas atividades diárias dentro das habitações. Isso é evidenciado pela variabilidade nos graus de concordância, com maior dispersão nos casos de sensações térmicas extremas e níveis mais altos de concordância, especialmente no inverno.

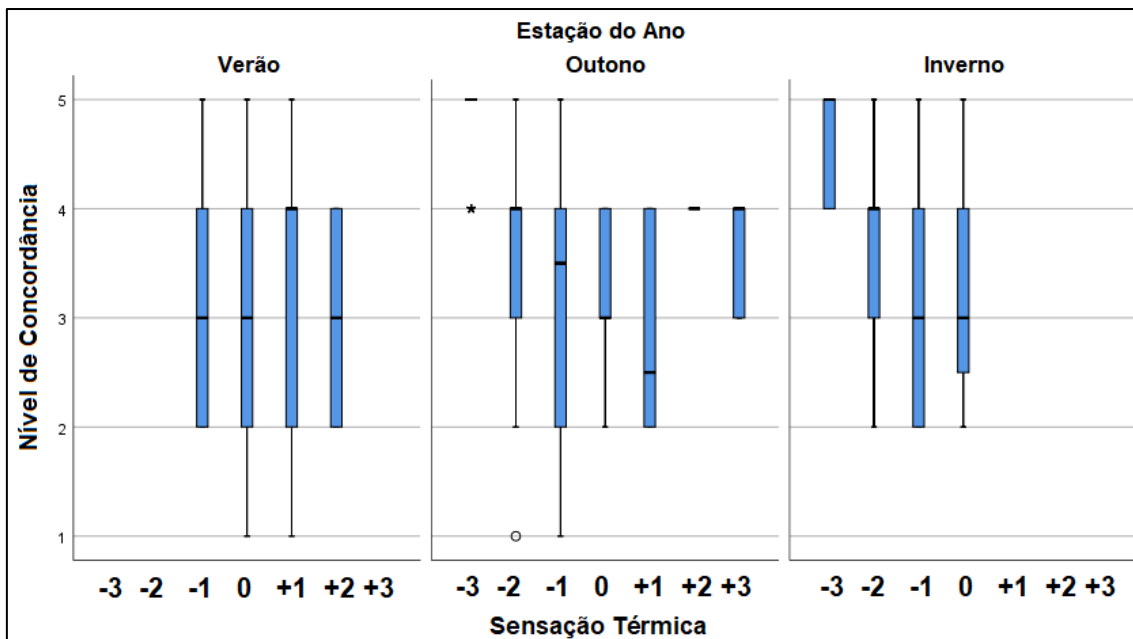


Figura 26: Gráfico Boxplot para a relação entre o nível de concordância e a percepção de conforto térmico.

Em um estudo realizado por Choi et al., (2023) os autores destacaram que a temperatura do ar, juntamente com outros fatores ambientais, desempenha um papel crucial no bem-estar e no desempenho dos ocupantes em ambientes internos, enfatizando a importância de considerar a temperatura do ar como parte integrante da qualidade ambiental interna, pois influencia diretamente o conforto térmico, a produtividade e a saúde dos ocupantes.

De acordo com Wolkoff, (2024), variações na humidade relativa do ar têm demonstrado impactos significativos no bem-estar e na produtividade dos indivíduos, onde em condições de baixa humidade relativa (<20%), foram observadas reduções na produtividade, aumento da fadiga, desconforto, distração mental, irritação ocular, bem como diminuição na velocidade e precisão da leitura, além de ressecamento das vias aéreas, por outro lado, um ambiente com humidade relativa entre 40% e 60% mostrou-se propício para melhorias no desempenho, combinado com temperaturas do ar mais agradáveis e uma circulação de ar adequada.

4.2 Análise da Qualidade do Ar

Ações realizadas por parte dos moradores (Figura 22), como a abertura de janelas para possibilitar a circulação de ar e maximizar a eficiência dos ventiladores, podem contribuir para a manutenção de um ambiente mais confortável. Por outro lado, no inverno, é importante balancear a necessidade de reter o calor com a manutenção de uma boa qualidade do ar. Fechar as janelas e usar sistemas de aquecimento pode ser necessário, mas é fundamental garantir que haja renovação do ar para evitar o aumento da concentração de CO e PM₁₀, entretanto, ao abrir as janelas para possibilitar a renovação do ar, há o risco de essa ação não ter o efeito desejado devido à emissões atmosféricas causadas pela queima da biomassa em outras residências, essa análise será feita detalhadamente mais a frente nesse capítulo.

4.2.1 Análise do Nível da Circulação de Ar.

Durante os meses mais quentes, os moradores das casas 1 e 3 constataram uma circulação de ar baixa ou até mesmo muito baixa (Figura 27). Devido a isso, faz-se necessário a utilização de algum equipamento e/ou a realização de alguma ação por parte dos moradores para aumentar a circulação de ar e conseqüentemente melhorar a qualidade do ar interior. Devido à falta de um sensor capaz de medir a circulação de ar, a análise dessa variável está limitada apenas à percepção dos moradores. Entretanto, Andreasi & Versage, (2004), em seu estudo analisou que o aumento da velocidade do ar interno não teve efeito significativo na sensação térmica, isso se deve ao fato do ar não amenizar o aumento da temperatura radiante. Ainda assim, Andreasi & Versage, (2004) e Jones & West, (2001), observaram que a corrente de ar sobre a pele proporciona uma sensação de frescor, o que conseqüentemente melhora a percepção de conforto térmico, desse modo, contribui para a redução da necessidade do uso de equipamentos, assim contribuindo para a economia de energia.

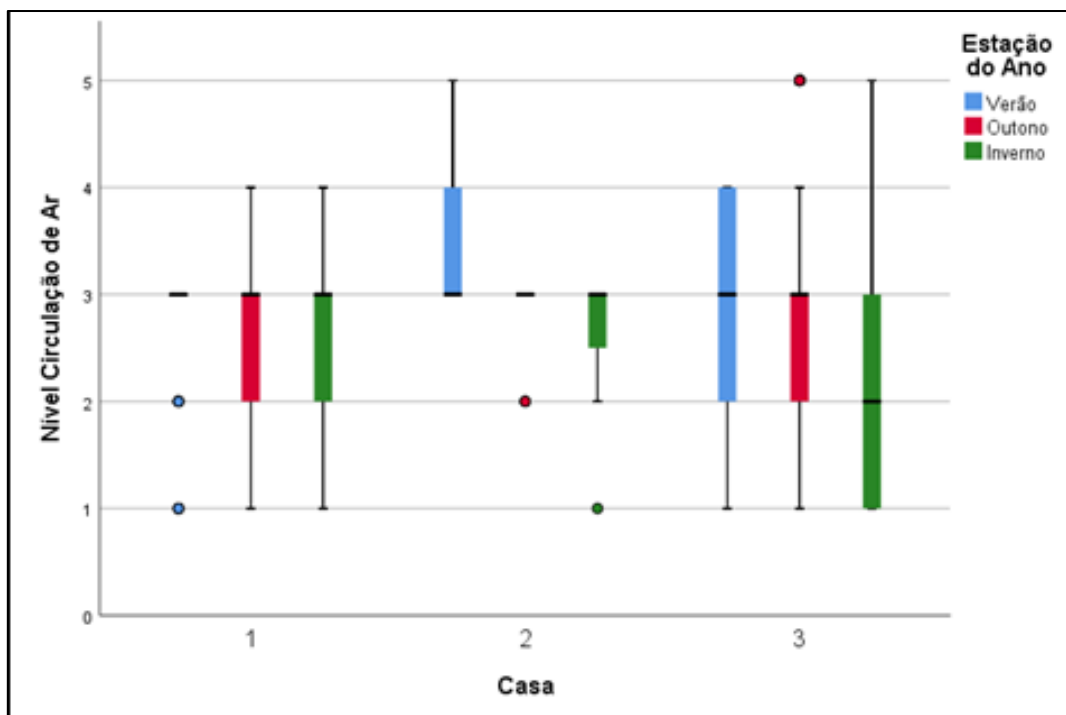


Figura 27: Percepção dos moradores sobre o nível da circulação do ar no interior das residências por casa por estação do ano. 5-Muito Alta, 4-Alta, 3-Adequada, 2-Baixa, 1-Muito Baixa.

4.2.2 Análise da Concentração de Monóxido de Carbono

Ao analisar a Figura 28, observa-se um aumento da concentração de CO conforme a temperatura do ar vai diminuindo, exceto na Casa 2. Nos meses mais frios para diminuir a troca de calor com o ambiente externo é comum evitar abrir as janelas, limitando assim, a circulação de ar interno e impedindo uma maior renovação desse ar. Uma explicação plausível para a disparidade nos valores observados na Casa 2 é que a fonte de CO está localizada externamente à residência, como os automóveis, e que durante o outono e inverno, o fechamento das janelas limita a entrada de ar, resultando em uma redução na concentração de CO no ambiente interno, entretanto, não se descarta a possibilidade de mal funcionamento do sensor. Como no questionário não há a opção de resposta 'janela permaneceu fechada', os moradores marcaram as respostas 'fechar janelas' e/ou 'fechar estores/persiana' como uma resposta equivalente, desse modo houve maior realização dessas ações (Figura 22) e isso contribuiu com a variação da concentração de CO.

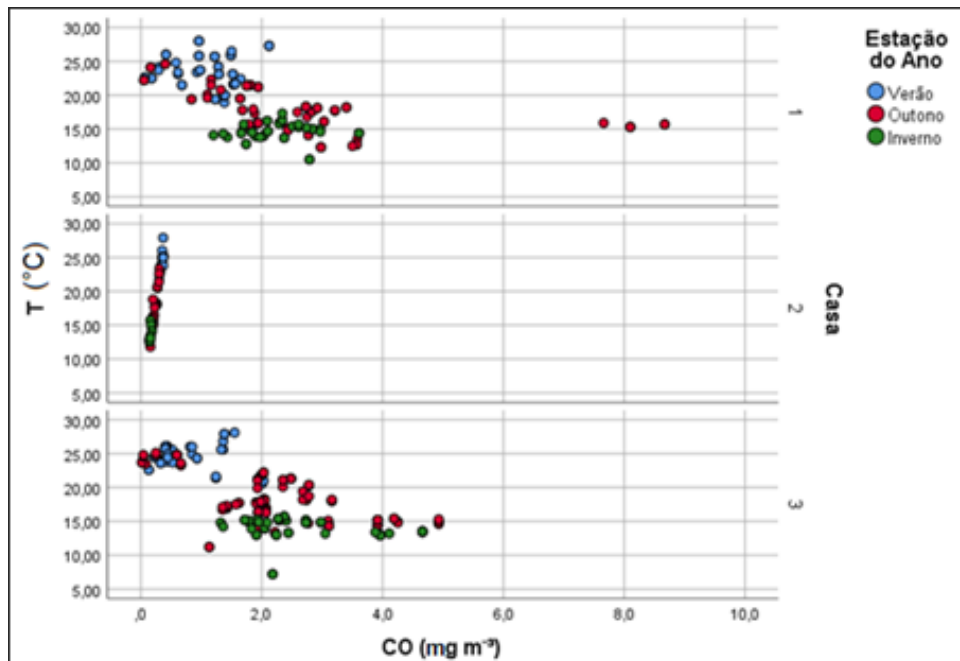


Figura 28: Variação da concentração de CO em relação as estações do ano.

Após avaliar pela correlação de Spearman se existe uma relação entre a concentração de CO e a temperatura do ar interior, constatou-se que a existe, no valor de $-0,532$ e sendo considerada uma correlação inversa e moderada. Reforçando a análise anteriormente feita sobre o aumento da concentração com as ações realizadas em consequência das mudanças de temperatura do ar, onde que com a diminuição da temperatura do ar houve diminuição da ação de abrir janela, desse modo, houve menos renovação do ar durante esse período.

Ao observar o histórico da concentração de CO das três casas (Figura 29) é possível identificar pontos de pico de concentração, sem que o limite estabelecido pela OMS para a concentração deste poluente fosse ultrapassado, com a exceção de um momento no inverno, na Casa 3, onde esse referencial foi ultrapassado.

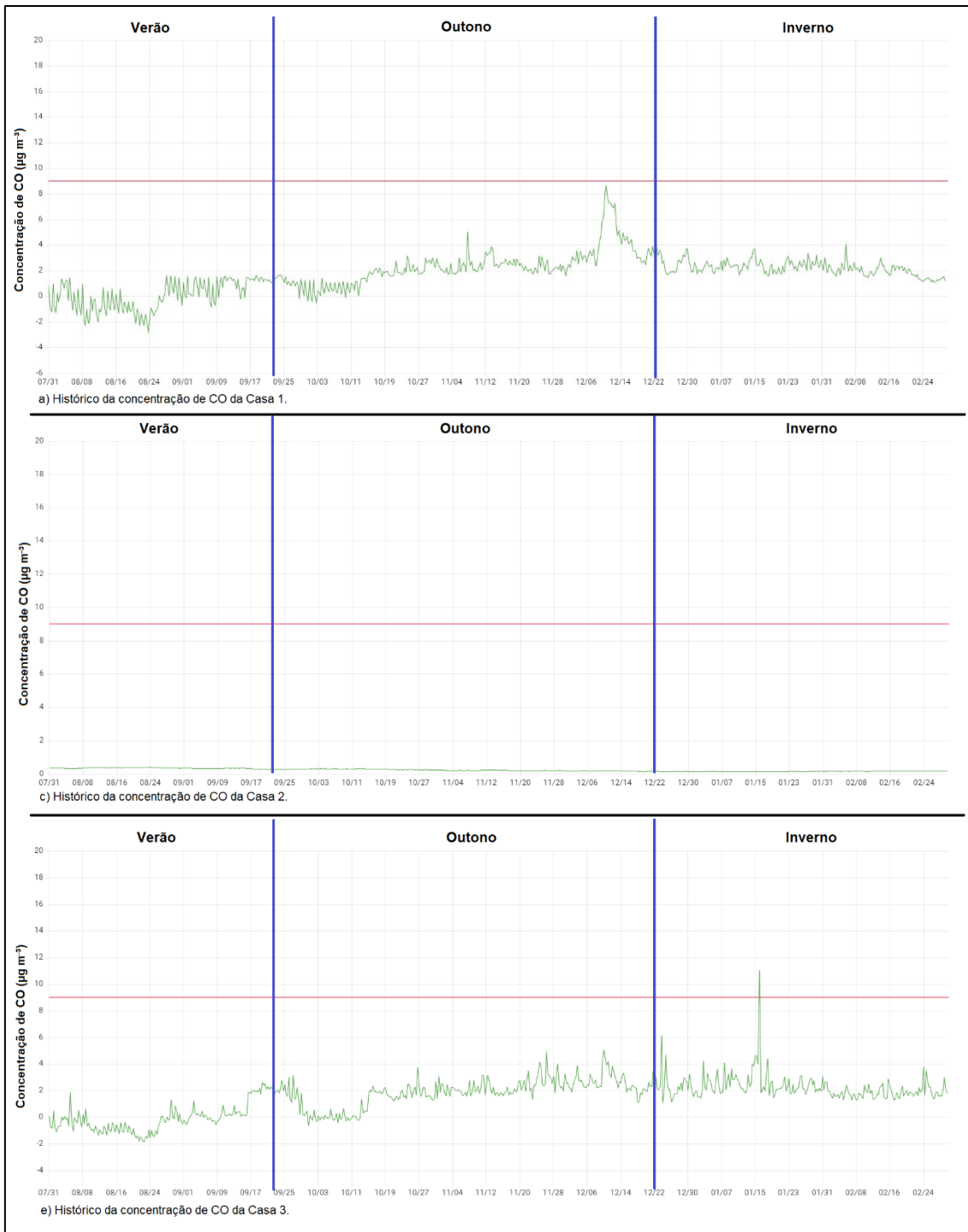


Figura 29: Histórico da concentração de CO das três casas.

4.2.3 Análise da Concentração de PM₁₀

Observando a Figura 30, é possível notar que o aumento da concentração de PM₁₀ durante os meses mais frios pode estar associado às emissões de fontes externas. Por exemplo, a queima de biomassa para aquecimento residencial resulta na liberação de gases para a atmosfera. Como as janelas estão frequentemente fechadas durante esse período, diminui-se a entrada de desse material particulado, entretanto, isso evita também a retirada desse ar contaminado. O mesmo foi observado por Wang et al., (2022), que após a abertura das janelas, houve uma melhora significativa na qualidade do ar interno.

Em Bragança, a queima de biomassa lenhosa para aquecimento do ambiente interno ainda é comum durante os meses mais frios, e isso acarreta no aumento dos níveis de material particulado na atmosfera urbana (Dantas et al., 2019). Durante os dias em que o questionário foi conduzido, os valores obtidos pelos sensores mostraram que, no total, 85,56% das medições nas três casas estavam abaixo do limite estabelecido pela OMS de 45 µg m⁻³.

Os picos de valores observados, podem estar relacionados com a varrição do ambiente onde se encontra o sensor, como relatado por (Santos, 2010), que também relacionou atividades domésticas comuns ao aumento da concentração de partículas PM₁₀. Essa atividade normalmente é realizada durante o final de semana, quando os estudantes dispõem de tempo livre para colocar em dia as atividades domésticas.

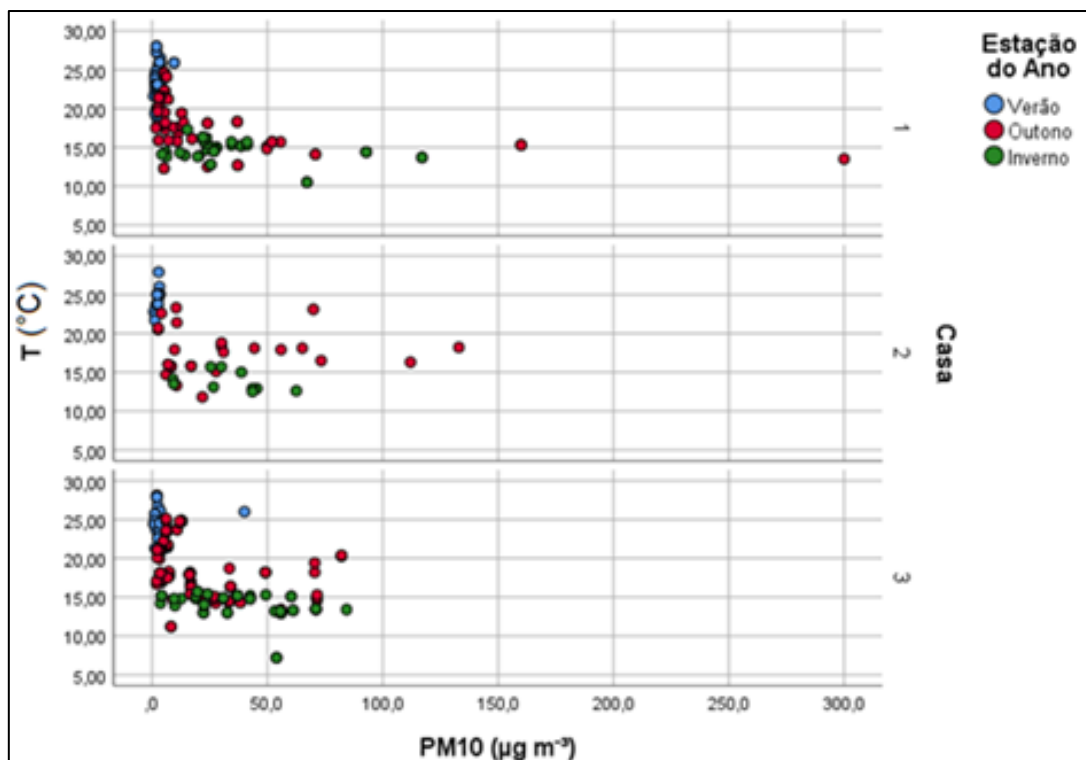


Figura 30: Concentração de PM₁₀ em relação a temperatura do ar interno por casa por estação do ano nos dias de aplicação do questionário.

A correlação entre a concentração de PM₁₀ e a temperatura do ar interior no valor de -0,693 representa uma correlação inversa moderada. Corroborando com a relação da queda de temperatura do ar com a qualidade do ar interno.

Ao observar o histórico da concentração de PM₁₀ das três casas (Figura 31) é possível identificar pontos de pico de concentração, que podem estar relacionados à varrição das casas. Também é possível observar com maior clareza a influência da fumaça da queima da biomassa durante os meses mais frios, sendo a partir de fevereiro observa-se uma diminuição na concentração de PM₁₀ nas casas 1 e 3.

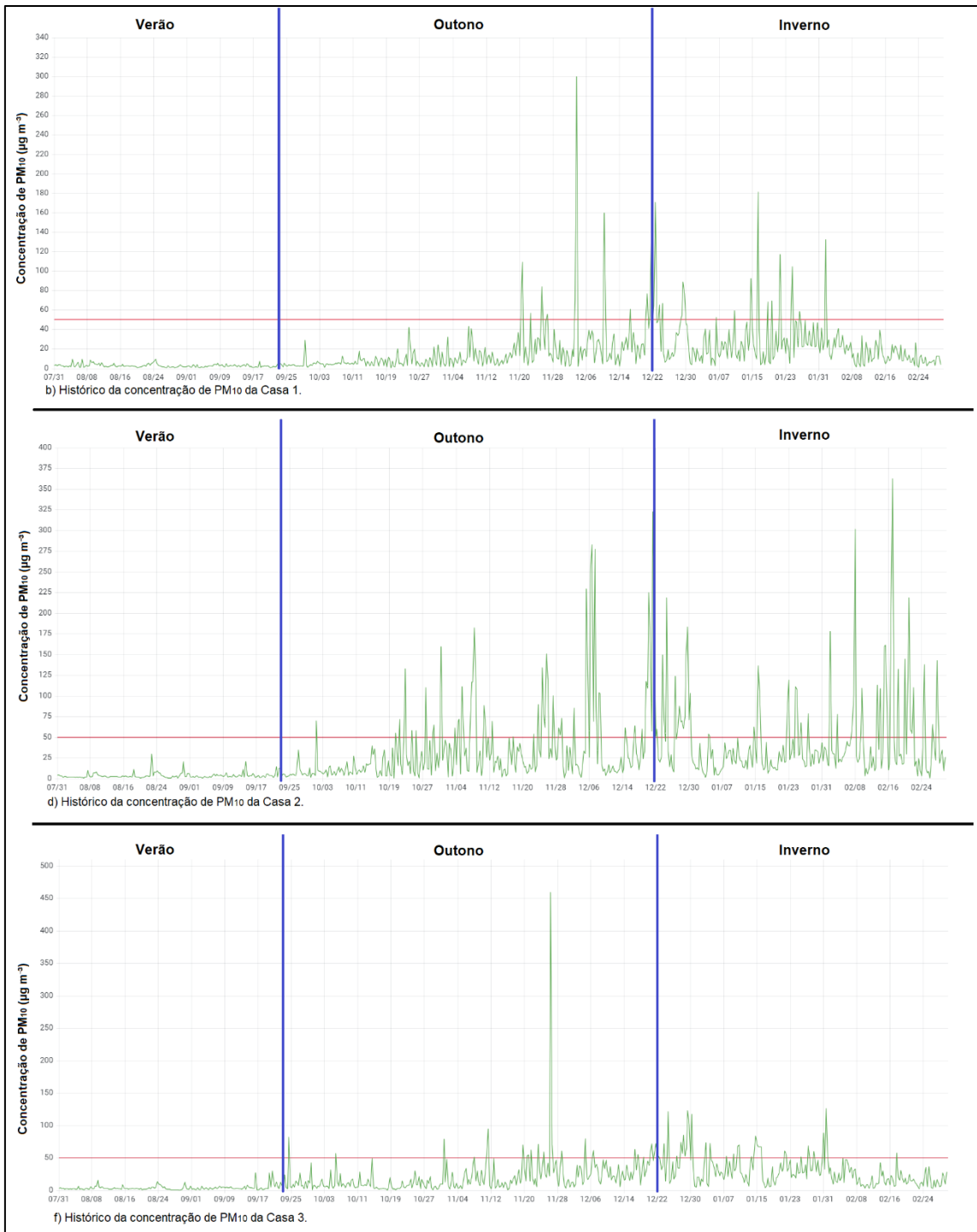


Figura 31: Histórico da concentração de PM₁₀ das três casas.

4.2.4 Análise das Situações Relatadas pelos Moradores

Não é somente a fumaça da queima da biomassa que afeta a qualidade do ar interno, outros fatores como ar seco e a presença de mofo nos cômodos podem influenciar no bem-estar dos moradores. No questionário os moradores também relataram algumas situações que perturbaram a sensação de satisfação com a qualidade do ar (Figura 32). Durante os meses de verão, devido à baixa umidade relativa do ar, o ar seco se torna um fator significativo na qualidade do ar interno, já o oposto acontece nos meses mais frios onde com o aumento da umidade relativa e diminuição da circulação do ar, o ambiente favorece o crescimento de mofo e à estagnação de ar frio, afetando a saúde física e mental dos moradores (Chen et al., 2023).

Os moradores das Casas 1 e 3 relataram que o banheiro das respectivas casas não possui janela e que o exaustor não está funcionando, como consequência há o desenvolvimento de mofo pelo teto e parede do banheiro. Níveis elevados de umidade relativa do ar podem acarretar doenças respiratórias e contribuem para a propagação do mofo para todos os cômodos da casa. Em um estudo feito por Zhang et al., (2023), a elevada umidade relativa do ar e a presença de mofo nos cômodos das casas analisadas, aumentou o risco de adquirir doenças respiratórias e dermatites nas casas com menor frequência na limpeza doméstica, os autores também destacaram a importância da abertura das janelas e exposição das roupas de cama ao sol como medida efetiva na redução dos riscos à saúde.

A poeira relatada pelos moradores da Casa 1 pode estar relacionada à atividade de construção civil nas proximidades da residência, pelo fato de apenas eles terem relatado essa ocorrência. Outra origem possível para a poeira pode estar relacionada as areias da região norte da África com origem nos desertos do Saara e Sahel. Esse evento natural acontece com frequência na península Ibérica, com a região norte de Portugal sendo menos afetada, entretanto há ocasiões em que a concentração de material particulado aumenta em 5 a 20 $\mu\text{g.m}^{-3}$, desse modo, aumentando os riscos à saúde (QUALAR, 2024). Ao pesquisar no site da QUALAR, não houve ocorrência desse evento no dia relatado pelos moradores, entretanto, no mesmo site há várias outras

ocorrências desse evento natural durante os diferentes meses do ano, e em momentos em que o questionário não é aplicado.

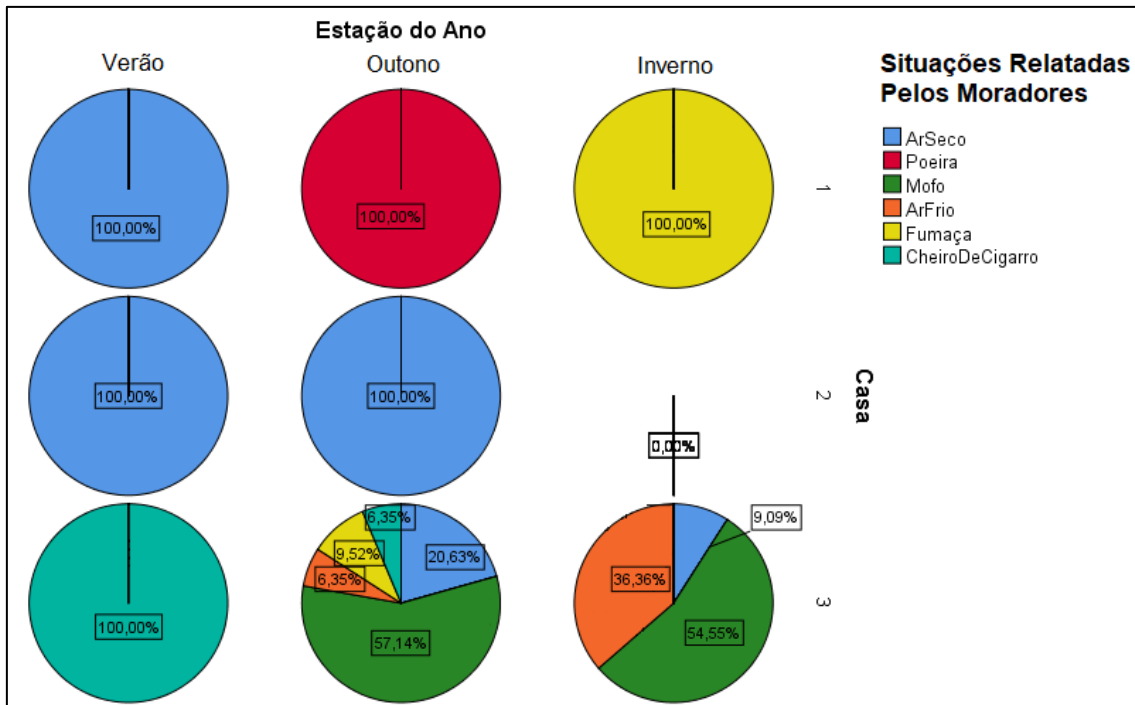


Figura 32: Situações relatadas pelos moradores que afetaram a qualidade do ar interno.

5. Conclusão

A análise do conforto térmico revelou aspectos importantes sobre a percepção e o comportamento dos moradores em relação às variações sazonais de temperatura do ar e umidade relativa. As análises mostraram que, durante o verão, a temperatura do ar interno das três residências tende a permanecer dentro da faixa de conforto térmico (20 - 27°C). Já no começo do outono a temperatura do ar permanece na zona de conforto térmico, mas ao se aproximar do inverno, há uma tendência a ficar abaixo da zona de conforto. Enquanto no inverno com temperaturas do ar frequentemente abaixo da faixa de conforto (18 - 25°C), os moradores relataram um desconforto térmico mais acentuado.

A análise da umidade relativa indicou uma forte tendência de permanecer dentro da zona de conforto térmico durante todo o período de estudo, entretanto, houveram momentos em que os valores estiveram próximos dos limites ou fora desses limites, isso acarretou um desconforto para os moradores, sendo necessário recorrer a utilização de algum equipamento ou tomada de alguma ação para melhorar as condições ambientais internas. A implementação de um sistema de aquecimento pode resolver os problemas de umidade relativa elevada durante as estações mais frias.

Em relação a qualidade do ar, nota-se que nas três casas, a partir do outono há um aumento considerável na concentração de PM₁₀, que em alguns momentos ficou acima do limite estabelecido pela OMS, pondo em risco a saúde dos moradores. Observou-se um comportamento similar em relação a concentração de CO nas casas, com exceção da Casa 2, onde as concentrações deste poluente foram diminutas.

Foi ainda observado que nas três casas para controlar suas despesas, os moradores optaram por abdicar de certos confortos. Este comportamento é particularmente evidente durante o inverno, quando as temperaturas do ar ficam constantemente abaixo da zona de conforto térmico. Devido a isso, estratégias passivas são requeridas para atingir o conforto térmico e melhorar a qualidade do ar, como trocar as janelas de vidro simples para vidro duplo, assim contribuindo para o isolamento térmico dos cômodos.

Para melhorar a análise sobre o conforto térmico e a qualidade do ar recomenda-se aprimorar a miniestação com a instalação de um sensor de

medição da velocidade do ar e de concentração de CO₂. Isso possibilitará analisar com maior precisão os fatores que estão afetando tanto o conforto térmico quanto a qualidade do ar de cada casa.

6. Referência Bibliográfica

- Andreasi, W. A., & Versage, R. de S. (2004). *A Ventilação Natural Como Estratégia Visando Proporcionar Conforto Térmico E Eficiência Energética No Ambiente Interno*.
- Arduino. (2024). *Arduino Mega 2560*. <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/>
- Bogo, A., Pietrobon, C. E., Barbosa, M. J., Goulart, S., Pitta, T., & Lamberts, R. (1994). *Bioclimatologia Aplicada Ao Projeto De Edificações Visando O Conforto Térmico*.
- Brager, G. S., & De Dear, R. J. (1998). Thermal adaptation in the built environment: A literature review. *Energy and Buildings*, 27(1), 83–96. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4)
- CETESB. (2024). *Qualidade do Ar. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo*. Recuperado 28 de fevereiro de 2024, de <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>
- Chen, Y., Li, M., Lu, J., & Chen, B. (2023). Influence of residential indoor environment on quality of life in China. *Building and Environment*, 232, 110068. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110068>
- Choi, H., Kim, H., Hong, T., & An, J. (2023). Examining the indirect effects of indoor environmental quality on task performance: The mediating roles of physiological response and emotion. *Building and Environment*, 236, 110298. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110298>
- Dantas, L., Azevedo, J. C., & Feliciano, M. (2019). O impacto da queima doméstica de biomassa lenhosa nos níveis de PM_{2,5} na cidade de

- Bragança, Portugal. *Revista de Ciências Agrárias*, 282-290 Páginas.
<https://doi.org/10.19084/RCA16191>
- Defra, D. For E., Food & Rural Affairs. (2024). *Emissions Of Air Pollutants Inthe Uk – Particulate Matter(Pm10 And Pm2.5)*.
<https://www.gov.uk/government/statistics/emissions-of-air-pollutants/emissions-of-air-pollutants-in-the-uk-particulate-matter-pm10-and-pm25>
- Djongyang, N., Tchinda, R., & Njomo, D. (2010). Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2626–2640.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.040>
- Fanger, P. O. (1973). *Assessment Of Man’s Thermal Comfort In Practice*. *British Journal Of Industrial Medicine*, 313–324.
- Ferreira, M. C. C., Feliciano, M. J. S., & Azevedo, J. C. M. (2012). *Consumo Doméstico de Biomassa Lenhosa e Emissões Atmosféricas na Cidade de Bragança*.
- Fierro, M. A., O’Rourke, M.K, & Burgess, J. L. (2001). ADVERSE HEALTH EFFECTS OF EXPOSURE TO AMBIENT CARBON MONOXIDE. *The University Of Arizona, College Of Public Health*.
- Foster, P., & Garman, J. (2011). *Heating With Wood—Using Wood To Heat Your Northern Minnesota Home*. Dovetail Inc.
https://dovetailinc.org/land_use_pdfs/lccmr_resources/home_heating_with_wood.pdf
- Frota, A. B., & Schiffer, S. R. (2006). *Manual de conforto termico* (7. ed). Nobel.

- Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, 18(1), 11–23. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90047-K](https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K)
- Gonçalves, A., Igrejas, G., Feliciano, M., Frigeri, A. V., Vaz, A. J. F., Soares, O., Alves, P., Pérez, V. C., Carrero, J. I. D., García, L. M. S., Salvachúa, F. R., Oraá, B. R., & García, J. J. V. (2022). *Metodología Para Análisis Inteligente De Energía Y Calidad De Aire En Viviendas Y Espacios Exteriores. Adaptación Y Monitorización De Instalaciones*. EnerUSER.
- Gonçalves, H., & Graça, J. M. (2004). *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. DGGE / IP-3E.
- Harrison, R. M., & Yin, J. (2000). Particulate Matter In The Atmosphere: Which Particle Properties Are Important For Its Effects On Health? *Science of The Total Environment*, 249(1–3), 85–101. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00513-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00513-6)
- Indraganti, M., & Humphreys, M. A. (2021). A Comparative Study Of Gender Differences In Thermal Comfort And Environmental Satisfaction In Air-Conditioned Offices In Qatar, India, And Japan. *Building and Environment*, 206, 108297. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108297>
- INE. (2021). *Resultados Preliminares Do Inquérito Ao Consumo De Energia No Sector Doméstico*. Instituto Nacional de Estatística.
- IPMA. (2010). *Norma Climatológica—Bragança*.
- ISO-7708. (1995). *Air Quality—Particle Size Fraction Definitions For Health-Related Sampling*. International Organization For Standardization.
- Jones, J., & West, A. W. (2001, novembro). *Natural Ventilation and Collaborative Design*.

- Kang, J., Choi, B., Choi, G.-S., & Lee, S.-E. (2011). Evaluation on the Characteristics of Cooling Energy Consumption in Blind-Integrated Window System. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 2(4), 302–306. <https://doi.org/10.5390/SUSB.2011.2.4.302>
- Lamberts, R., Dutra, L., & Pereira, F. O. R. (2014). Eficiência Energética Na Arquitetura. *Eficiencia Energética na Arquitetura*, 3ª.
- Mannan, M., & Al-Ghamdi, S. G. (2021). Indoor Air Quality in Buildings: A Comprehensive Review on the Factors Influencing Air Pollution in Residential and Commercial Structure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6), 3276. <https://doi.org/10.3390/ijerph18063276>
- Matos, J., Brantes, J., & Cunha, A. M. A. (2010). *Qualidade do Ar em Espaços Interiores—Um Guia Técnico*. Agência Portuguesa do Ambiente.
- McDonald, J. D., Zielinska, B., Fujita, E. M., Sagebiel, J. C., Chow, J. C., & Watson, J. G. (2000). Fine Particle And Gaseous Emission Rates From Residential Wood Combustion. *Environmental Science & Technology*, 34(11), 2080–2091. <https://doi.org/10.1021/es9909632>
- Oleskowicz-Popiel, C., & Sobczak, M. (2014). Effect Of The Roller Blinds On Heat Losses Through A Double-Glazing Window During Heating Season In Central Europe. *Energy and Buildings*, 73, 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.032>
- Poria, Y., & Oppewal, H. (2002). Student Preferences For Room Attributes At University Halls Of Residence: An Application Of The Willingness To Pay

- Technique. *Tourism and Hospitality Research*, 4(2), 116–129.
<https://doi.org/10.1177/146735840200400203>
- Pourkiaei, M., & Romain, A.-C. (2023). Scoping review of indoor air quality indexes: Characterization and applications. *Journal of Building Engineering*, 75, 106703. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106703>
- Presidência do Conselho de Ministros, D.-L. n. ° 101-D. (2020). *Estabelece Os Requisitos Aplicáveis A Edifícios Para A Melhoria Do Seu Desempenho Energético E Regula O Sistema De Certificação Energética De Edifícios, Transpondo A Diretiva (UE) 2018/844 E Parcialmente A Diretiva (UE) 2019/944. n° 237(Diário da República).*
- QUALAR. (2024). *QUALAR. Eventos Naturais.*
https://qualar.apambiente.pt/node/eventos_naturais
- Ramspeck, C. B., Jakob, F. E., Kennedy, S. D., Knebel, D. E., Kohloss, F. H., McBride, M. F., Modera, M. P., Nasser, C. H., Shavit, G., Tree, D. R., Williams, T. H., Woods, J. E., Montgomery, R. D., & Peterson, K. W. (2004). *Ashrae Standards Committee 2003-2004.*
- Rumchev, K., Zhao, Y., & Spickett, J. (2017). Health Risk Assessment of Indoor Air Quality, Socioeconomic and House Characteristics on Respiratory Health among Women and Children of Tirupur, South India. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(4), 429.
<https://doi.org/10.3390/ijerph14040429>
- Rupp, R. F., Piil, J. F., Cubel, C., Nybo, L., & Toftum, J. (2023). Implications Of Lower Indoor Temperatures – Not Cool For Cold Susceptible Individuals Across Both Sexes. *Energy and Buildings*, 284, 112829.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112829>

- Santos, J. C. dos. (2010). *Avaliação Da Qualidade Do Ar Interior Em Jardins-De-Infância. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.*
- Satish, U., Mendell, M. J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S., & Fisk, W. J. (2012). Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance. *Environmental Health Perspectives*, 120(12), 1671–1677. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104789>
- Sevegnani, K. B., Ghelfi Filho, H., & Silva, I. J. O. D. (1994). Comparação De Vários Materiais De Cobertura Através De Índices De Conforto Térmico. *Scientia Agricola*, 51(1), 1–7. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161994000100001>
- Shao, T., & Jin, H. (2020). A Field Investigation On The Winter Thermal Comfort Of Residents In Rural Houses At Different Latitudes Of Northeast Severe Cold Regions, China. *Journal of Building Engineering*, 32, 101476. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101476>
- Spiller, G. V. (2019). *A Qualidade Em Edifícios De Habitação Dos Anos 80 E 90 Na Cidade De Bragança: Levantamento Das Necessidades De Reabilitação.*
- Tweed, C., Dixon, D., Hinton, E., & Bickerstaff, K. (2014). Thermal Comfort Practices In The Home And Their Impact On Energy Consumption. *Architectural Engineering And Design Management*, 10(1–2), 1–24. <https://doi.org/10.1080/17452007.2013.837243>
- Wang, Z., Wu, Y., Jia, Z., Gao, Q., & Gu, Z. (2022). Research on Health and Thermal Comfort of Unit-Type Student Apartments in the Western China

- Science and Technology Innovation Harbor. *Frontiers in Public Health*, 10, 850107. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.850107>
- WHO. (2010). *WHO Guidelines For Indoor Air Quality: Selected Pollutants*. WHO.
- WHO. (2021). *WHO Global Air Quality Guidelines—Particulate Matter (PM 2,5 and PM 10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide And Carbon Monoxide*.
- WHO. (2022). *Ambient (Outdoor) Air Pollution*.
- Wolkoff, P. (2024). Indoor air humidity revisited: Impact on acute symptoms, work productivity, and risk of influenza and COVID-19 infection. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 256, 114313. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2023.114313>
- Xiong, Y., Liu, J., & Kim, J. (2019). Understanding differences in thermal comfort between urban and rural residents in hot summer and cold winter climate. *Building and Environment*, 165, 106393. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106393>
- Yang, L., Yan, H., & Lam, J. C. (2014). Thermal comfort and building energy consumption implications – A review. *Applied Energy*, 115, 164–173. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.062>
- Yin, P., Xie, J., Ji, Y., Liu, J., Hou, Q., Zhao, S., & Jing, P. (2023). Winter indoor thermal environment and heating demand of low-quality centrally heated houses in cold climates. *Applied Energy*, 331, 120480. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120480>
- Zhang, B., Norbäck, D., Cheng, H., Li, B., Zhang, Y., Zhao, Z., Deng, Q., Huang, C., Yang, X., Lu, C., Qian, H., Wang, T., Zhang, L., Yu, W., Wang, J., & Zhang, X. (2023). Dampness And Mould In Chinese Homes And Sick

Building Syndrome (SBS) Symptoms – Associations With Climate, Family Size, Cleaning And Ventilation. *Building and Environment*, 245, 110878.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110878>

Zoure, A. N., & Genovese, P. V. (2023). Implementing Natural Ventilation And Daylighting Strategies For Thermal Comfort And Energy Efficiency In Office Buildings In Burkina Faso. *Energy Reports*, 9, 3319–3342.
<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.02.017>