

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA

MARINA SANTOS PRADO

**ANÁLISE DE INDICADORES DE CONFORTO TÉRMICO UTILIZANDO MÉTODOS
ADAPTATIVOS EM UMA PLANTA PILOTO BIOCLIMÁTICA**

ARARANGUÁ

2019

MARINA SANTOS PRADO

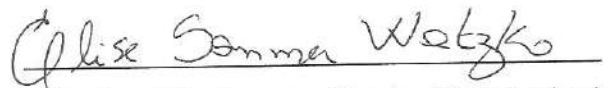
**ANÁLISE DE INDICADORES DE CONFORTO TÉRMICO A PARTIR DE MÉTODOS
ADAPTATIVOS EM UMA PLANTA PILOTO BIOCLIMÁTICA**

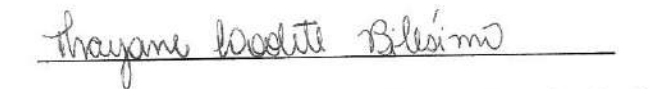
Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro(a) de Energia.

Araranguá, 01 de novembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli (Orientador)


Profa. Dra. Elise Sommer Watzko (Examinadora)


Mestre Eng. Thayane Lodete Bilésimo (Examinadora)

ANÁLISE DE INDICADORES DE CONFORTO TÉRMICO A PARTIR DE MÉTODOS ADAPTATIVOS EM UMA PLANTA PILOTO BIOCLIMÁTICA

Marina Santos Prado*

RESUMO

O conforto térmico é um estado ou condição de sentir satisfação com o ambiente térmico circunjacente, e é classificado entre as condições mais importantes para melhorar o conforto e o bem-estar dos ocupantes com o ambiente interno. O modelo adaptativo analisa os indivíduos como agentes ativos que buscam dinamicamente o seu conforto térmico, por meio de mudanças das variáveis de um ambiente. O objetivo deste trabalho é avaliar o conforto térmico utilizando métodos adaptativos de ambientes naturalmente ventilados em uma planta piloto bioclimática localizada no Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina em Araranguá-SC. Foram feitos levantamentos de campo de variáveis microclimáticas (temperatura do ar e umidade relativa), individuais (taxa metabólica e isolamento térmico da vestimenta) e subjetivas (sensibilidade, preferência e aceitabilidade térmica). Para coleta das variáveis individuais e subjetivas realizou-se a aplicação de questionários aos ocupantes em períodos distintos do ano, considerando períodos de calor e frio. A partir dos votos obtidos nos questionários foi feita uma análise da sensibilidade, preferência e aceitabilidade térmica dos ocupantes de acordo com dados de temperatura interna e externa obtidos no momento dos votos, relacionando com a taxa metabólica e a vestimenta dos mesmos. O presente trabalho mostrou uma maior adaptabilidade ao ambiente térmico dos indivíduos pesquisados, apresentando uma temperatura de conforto na faixa de 15°C a 20°C para votos de sensação térmica neutra e uma faixa de 11°C a 19°C para votos de sensação térmica “levemente com frio” e “levemente com calor”.

Palavras chaves: Conforto térmico. Modelo Adaptativo. Aplicação de questionários.

* Graduada do curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Jardim das Avenidas, Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP: 88900-000. Email: marinasprado@grad.ufsc.br

ANALYSIS OF THERMAL COMFORT INDICATORS FROM ADAPTIVE METHODS ON A BIOCLIMATIC PILOT PLANT

Marina Santos Prado[†]

ABSTRACT

Thermal comfort is a state or condition of satisfaction with the surrounding thermal environment, and is ranked among the most important conditions for improving occupant comfort and well-being with the interior environment. The adaptive model analyzes individuals as active agents that dynamically seek their thermal comfort by changing the variables of an environment. The objective of this work is to investigate the applicability of the adaptive model of thermal comfort analysis in naturally ventilated environments in a bioclimatic pilot plant located at the Center of Science, Technology and Health of the Federal University of Santa Catarina in Araranguá-SC. Field surveys of variables were made as microclimatic (air temperature and relative humidity), individual (metabolic rate and thermal insulation of the clothing) and subjective (sensitivity, preference and thermal acceptability). To collect individual and subjective variables, questionnaires were applied to occupants at different periods of the year, considering periods of the hot and cold. From the votes obtained in the questionnaires, an analysis of the occupants' sensitivity, preference and thermal acceptability was made according to internal and external temperature data obtained at the time of the votes, relating to their metabolic rate and clothing. The present work showed a greater adaptability of the surveyed individuals, presenting a comfort temperature in the range of 15 to 20°C for neutral thermal votes and a range of 11 to 19°C for "slightly cold" and "slightly hot" thermal votes.

Keywords: Thermal comfort. Adaptive model. Application of questionnaires.

[†]Graduanda do curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Jardim das Avenidas, Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP: 88900-000. Email: marinasprado@grad.ufsc.br.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 6 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 8 |
| 2.1 | CONFORTO TÉRMICO | 8 |
| 2.1.1 | Abordagem analítica | 9 |
| 2.1.2 | Abordagem adaptativa | 10 |
| 2.2 | AMBIENTE NATURALMENTE VENTILADOS | 16 |
| 3 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 18 |
| 3.1 | DEFINIÇÃO DO CLIMA DA CIDADE DE ARARANGUÁ-SC | 18 |
| 3.2 | EDIFICAÇÃO ANALISADA | 18 |
| 3.3 | INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO | 21 |
| 3.4 | TRATAMENTO DE DADOS | 22 |
| 3.4.1 | Temperatura do ar (Tar) | 22 |
| 3.4.2 | Temperatura média predominante externa | 23 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 24 |
| 4.1 | VARIÁVEIS AMBIENTAIS | 26 |
| 4.1 | ANÁLISE DE VOTOS | 30 |
| 4.2.1 | Sensação térmica | 30 |
| 4.2.2 | Aceitabilidade térmica | 32 |
| 4.2.3 | Preferência térmica | 36 |
| 4.3 | ANÁLISE DE INTERVENÇÃO DE CRITÉRIOS PESSOAIS E AMBIENTAIS | 39 |
| 4.3.1 | Vestimenta | 39 |
| 4.3.2 | Umidade relativa | 44 |
| 4.3.3 | Temperatura neutra | 49 |
| 4.3.4 | Temperatura externa | 51 |
| 5 | CONCLUSÃO | 55 |
| 5.1 | LIMITAÇÕES DO TRABALHO | 56 |
| | REFERÊNCIAS | 57 |

1 INTRODUÇÃO

A melhor razão para condicionar mecanicamente os edifícios é criar condições térmicas adequadas para os ocupantes (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, 2001). Estudos de satisfação dos ocupantes identificam a temperatura como um dos aspectos mais importantes de um edifício (HARRIS; ASSOCIATES, 1980). Considerando que o controle climático é importante equilibrar economia de energia em relação às necessidades dos ocupantes.

Padrões como a American Society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers (ASHRAE 1992, 1995) e International Organization for Standardization 7730 (ISO 1994) são derivados de um modelo de conforto térmico os quais tratam os ocupantes como receptores passivos de estímulos térmicos. Estes são baseados em pesquisas feitas em câmaras climáticas onde indivíduos foram expostos a parâmetros ambientais controlados, como temperatura e umidade. O método analítico prevê para diferentes tipos de atividade metabólica e vestimenta de ocupantes, as combinações de variáveis ambientais internas que resultam em limites em que haveria maior probabilidade de haver conforto térmico em um espaço. O modelo avalia a sensação térmica a partir de dois índices: o predicted mean vote (PMV), ou voto médio predito, que representa a sensação térmica média de um grupo de pessoas, e o predicted percentage of dissatisfied (PPD), ou porcentagem predita de insatisfeitos, que estima a quantidade de pessoas insatisfeitas (FANGER, 1970).

Humphreys (1994) reconheceu que os ocupantes interagem com seus ambientes, e que irão adaptar seus comportamentos e expectativas em relação ao conforto térmico. E comentou que “caracteristicamente, as pessoas procuram estar confortáveis, e tomar medidas para garantir o conforto térmico.” Os ocupantes interagem com o ambiente para restaurar seu estado de conforto térmico, abrindo janelas, alterando sua vestimenta, entre outros exemplos de adaptação comportamental (BRAGER; DE DEAR, 1998; HUMPHREYS, 1994). O modelo adaptativo revelou que tanto o ambiente interno quanto o a temperatura externa tem impacto significativo no conforto térmico humano por meio da adaptação térmica.

Edifícios naturalmente ventilados apresentam temperaturas internas sem grande variação diariamente e uma maior disponibilidade dos ocupantes modificarem seus ambientes. Já em edifícios fechados, o uso de ar condicionado é projetado para alcançar faixa padronizada de condições térmicas, fazendo com que os ocupantes acabem sendo habituados com

temperaturas definidas. Logo é mais provável que os ocupantes de edifícios fechados se sintam insatisfeitos em relação ao conforto térmico (BRAGER; DE DEAR, 2001).

Este trabalho de conclusão de curso tem por objetivo geral analisar o conforto térmico pelo método adaptativo de uma Planta Piloto Bioclimática em Araranguá-SC considerado um ambiente naturalmente ventilado. A fim de alcançar o objetivo geral, este trabalho tem como objetivos específicos:

- Utilizar equipamentos de medição da temperatura e umidade externa e interna com no mínimo de sete dias antes da aplicação do questionário;
- Aplicar questionário, em um período quente e frio, sobre a percepção dos pesquisados em relação ao ambiente térmico e suas características e hábitos;
- Analisar votos de sensação, aceitabilidade e preferência térmica relacionados ao questionário;
- Examinar influência de variáveis como vestimenta e umidade relativa nos votos;
- Encontrar a temperatura neutra e linhas de temperatura de conforto para o período de aplicação do questionário.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir serão descritos pressupostos teóricos básicos relacionados a temática estudada neste trabalho, a fim de demonstrar questões relacionadas ao conforto térmico adaptativo.

2.1 CONFORTO TÉRMICO

Segundo a norma americana, ASHRAE Standard 55, conforto térmico é definido como “O estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico”. O conforto térmico está relacionado com três fatores: físicos, fisiológicos e psicológicos. Os fatores físicos associam a determinação da troca térmica do corpo com o meio que são influenciados pela temperatura, umidade e velocidade relativa do ar, calor radiante e o tipo de atividade que a pessoa está praticando no momento. Já os fatores fisiológicos estão relacionados com retorno fisiológico do corpo à aclimação humana. E por último os fatores psicológicos que depende do histórico cultural que cada indivíduo, tendo diferenças na percepção e nas repostas aos estímulos sensoriais.

Uma das formas de avaliar o conforto térmico é pelo modelo analítico que trabalha com seis variáveis divididas em dois grupos: ambientais e pessoais. O primeiro grupo é composto pela temperatura ambiente, temperatura média radiante, umidade relativa do ar e velocidade relativa do ar. Já as variáveis pessoais são a resistência térmica das roupas e a produção de calor pelo organismo através do metabolismo. Essas variáveis do segundo grupo podem ser encontradas em tabelas disponibilizadas na norma ASHRAE 55 que fornecem valores aproximados para alguns casos específicos (2013).

O estudo de conforto térmico relaciona aspectos físicos-biológicos resultantes da homeotermia do homem. O corpo humano funciona com temperaturas constantes, oscilando estas entre 36,1°C e 37,2°C, em condições de saúde. Quando estas temperaturas atingem números maiores ou menores, ou seja, o aumento das perdas ou a redução dos ganhos de calor, surgem processos como a vasoconstrição (aumento da taxa metabólica), a vasodilatação (redução da taxa metabólica), o arrepios, e a exsudação que resultam na sensação de desconforto e fadiga. Essa termorregulação humana é realizada pelas trocas de calor, sendo elas, radiação, convecção e condução que são processos diretos; como também evaporação e respiração que são processos indiretos (ALMEIDA, 2010).

Sendo assim, a sensação de conforto térmico está associada a uma condição de neutralidade térmica. A neutralidade térmica é um estado físico do corpo humano, no qual todo

o calor gerado pelo organismo através do metabolismo é trocado em igual proporção com o ambiente, não havendo nem acúmulo, nem perda excessiva de calor. O estado de neutralidade térmica é definido pelo pesquisador dinamarquês Ole Fanger (1970):

Uma pessoa pode estar no estado de neutralidade térmica e não estar em conforto térmico. Como por exemplo, estar exposta a um campo de radiação, porém tendo sua temperatura corporal constante. Ou seja, a condição de neutralidade é necessária, porém não suficiente para que uma pessoa esteja em conforto térmico.

Como visto, o conforto térmico está diretamente relacionado com a termorregulação humana e o balanço térmico do corpo humano.

2.1.1 Abordagem analítica

A abordagem analítica estima a satisfação humana pelas variáveis humanas e variáveis ambientais. As variáveis humanas são aquelas relacionadas ao calor gerado pelo corpo através do metabolismo, como também o isolamento da vestimenta. Já as variáveis ambientais estão ligadas aos elementos climáticos.

A norma norte americana ASHRAE 55 (1992, 1995) e a ISO 7730 (ISO 1994) analisam o conforto térmico pelo método analítico determinando os indivíduos como seres passivos. Este modelo analítico determina o conforto térmico analisando dois parâmetros: PMV e PPD. O PMV é definido por uma escala de sensação térmica de sete níveis e também baseado na equação de balanço térmico do corpo humano, é determinado por variáveis, como temperatura do bulbo seco, temperatura média radiante, umidade do ar, velocidade do ar, atividade metabólica e vestimenta. O PMV é definido através da relação na Equação 1.

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0,036 \cdot M} + 0,028) * S \quad (1)$$

Onde:

M= atividade desempenhada pelo indivíduo

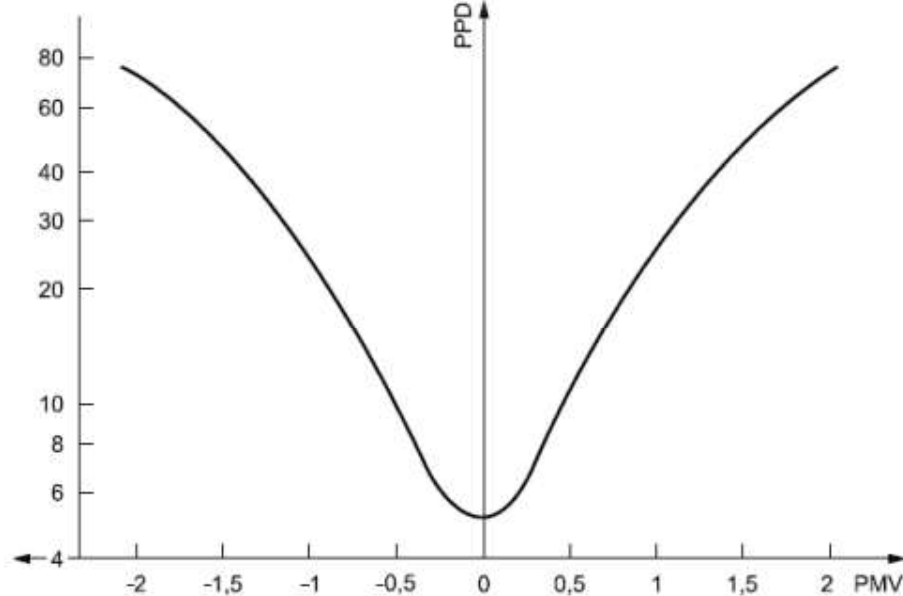
S= Carga térmica atuante sobre o corpo

Já o PPD estabelece a quantidade de pessoas insatisfeitas termicamente com o ambiente, e é determinado em função do PMV, mostrado na Equação 2.

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)} \quad (2)$$

A curva entre PMV e PPD determina a condição térmica do ambiente pelo modelo estático mostrado na Figura 1. Observa-se que a condição neutra (condição ótima de conforto) de sensação térmica no PMV apresenta-se 5% de insatisfeitos no PPD.

Figura 1 – Percentagem prevista de insatisfeitos (PPD) em função do Voto médio predito (PMV).



Fonte: LAMBERTS, LABEENE.

Observa-se que um PMV de 0,5 apresenta 10% de insatisfeitos no PPD, e para um PMV de 0,85 tem-se um PPD de 20% de insatisfeitos, formando uma parábola.

2.1.2 Abordagem adaptativa

Michael A. Humphreys apresentou o primeiro modelo adaptativo em 1976 e constatou que a temperatura de conforto não é uma constante, e sim varia de acordo com a estação, e temperatura a que as pessoas estão acostumadas. (HUMPHREYS, 1976).

A norma EUROPEAN STANDARD (EN 15251) utiliza como base o modelo adaptativo de Humphreys, Nicol e Roaf (2012) e a norma norte americana (ASHRAE 55) utiliza o modelo de De Dear e Brager (2002).

Atualmente, tem-se a concepção que o conforto térmico se trata de um conceito subjetivo e complexo, uma vez que além de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos, a combinação entre expectativas sobre o clima interno em um contexto particular influencia na sensação térmica,

satisfação e aceitabilidade do homem em relação ao seu ambiente térmico (DE DEAR; BRAGER, 2001).

O modelo adaptativo de análise de conforto térmico analisa as pessoas como agentes ativos que interagem com o ambiente podendo modificar seu espaço por meio de retroalimentações. Essa metodologia é denominada adaptativa por analisar as pessoas não como agentes passivos, mas agentes que promovem ações como alteração do vestuário, postura, atividade física, manipulação das janelas e condicionamentos de ar ou mudança de local dentro do edifício. Essas ações visam atingir as condições que cada um considera adequadas para obterem uma sensação térmica de conforto (EUROPEN STANDARD EN 15251).

O modelo adaptativo se mostra aplicável em edificações com ventilação híbrida (ar condicionado e ventilação natural) e ventilação natural. Sendo assim, este método busca a faixa de conforto entre a temperatura externa e a temperatura interna, que seria a temperatura de conforto térmico. Por conta disto, conclui-se que em edificações com ventilação natural esta relação é mais dependente do que em prédios com sistemas de ar-condicionado (HUMPHREYS; RIJAL; NICOL, 2013).

No método adaptativo, regressões lineares relacionam as faixas aceitáveis de temperaturas de operação internas com as temperaturas externas, ou seja, a temperatura de conforto varia de acordo com o clima no exterior da edificação (NICOL; HUMPHREYS; ROAF, 2012).

De acordo com esta abordagem, encontrou-se uma forte relação estatística entre a neutralidade térmica, dada pela temperatura neutra ou temperatura interna preferível (T_n) e a temperatura externa média mensal (T_m) com um coeficiente de correlação de $r= 0,97$ para ambientes naturalmente ventiladas (PIRES, 2015). A temperatura neutra pode ser calculada a partir da temperatura externa pela Equação 3.

$$T_n = 11,9 + 0,534 * T_m \quad (3)$$

Sendo T_n e T_m em °C.

Em 1997, foi encontrada outra regressão linear para a temperatura de conforto por uma base de dados do relatório ASHRAE RP-884 publicado de De Dear, Brager e Cooper proveniente de diferentes pesquisas ao redor do mundo (DE DEAR; BRAGER 2001). A base de dados eram referentes respostas de questionários de sensação térmica, estimativas de vestimenta e taxa metabólica, clima interno, uma variedade de índices térmicos calculados e observações sobre o clima externo (PIRES, 2015). A equação encontrada está exposta na Equação 4.

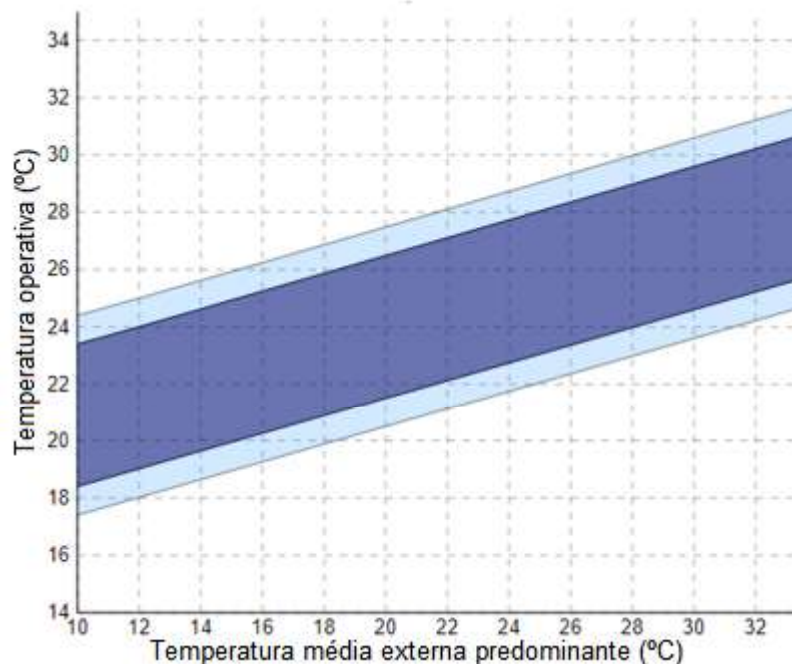
$$T_{conf} = 17,8 + 00,31 * T_m \quad (4)$$

Em 1998, Humphreys e Nicol determinaram uma nova regressão linear de acordo com a norma ASHRAE. Essa regressão linear foi feita com o cálculo da temperatura de conforto de acordo com a temperatura externa média mensal e com coeficiente de correlação de $r=0,95$ (PIRES, 2015).

$$T_{conf} = 13,5 + 0,54 * T_m \quad (5)$$

A Figura 2 mostra a faixa de conforto obtida através da média aritmética entre todos os intervalos de conforto térmico originado para cada edificação naturalmente ventilada pesquisada. A faixa de conforto varia de 5°C para 90% de aceitabilidade e de 7°C para 80% de aceitabilidade (DE DEAR; BRAGER, 2001; PIRES, 2015), sendo em função da temperatura operativa e da temperatura média externa predominante.

Figura 2 – Intervalos de temperatura interna aceitável para ambientes naturalmente ventilados da norma ASHRAE.



Fonte: Adaptado de CBE THERMAL COMFORT TOOL, 2017.

A temperatura média externa predominante é calculada a partir da média das temperaturas no período mínimo de 7 dias e máximo de 30 dias antes do experimento. A temperatura operativa é a temperatura interna uniforme imaginária em que a troca de calor por convecção e radiação do ocupante seria a mesma em um ambiente real não uniforme.

O modelo de conforto térmico adaptativo quantifica a relação entre uma temperatura neutra e a temperatura externa com uma regressão linear. A temperatura operativa é definida como a temperatura interna correspondente à sensação térmica “neutra” e é calculada com base na taxa de mudança da sensação térmica em relação à temperatura interna. A temperatura externa é obtida com base na condição climática externa. Considerando as duas normas, ASHRAE e EN 15251, a temperatura média externa é, respectivamente, temperatura externa média mensal (média aritmética do mínimo médio diário e máximo médio diário em um mês) ou a temperatura média exterior exponencialmente ponderada.

A temperatura média exterior exponencialmente ponderada indica o efeito acumulativo das temperaturas do ar externo passado, representada na Equação 6.

$$Trmt = (1 - \alpha). \{T(t - 1) + \alpha T(t - 2) + \alpha^2 T(t - 3) + \dots\} \quad (6)$$

Onde $Trmt$ é a temperatura média exterior exponencialmente ponderada, $T_{(t-1)}$ é a temperatura externa do dia anterior, $T_{(t-2)}$ temperatura média do dia anterior ao $T_{(t-1)}$ e assim por diante, e α é uma constante de tempo ($0 \leq \alpha < 1$).

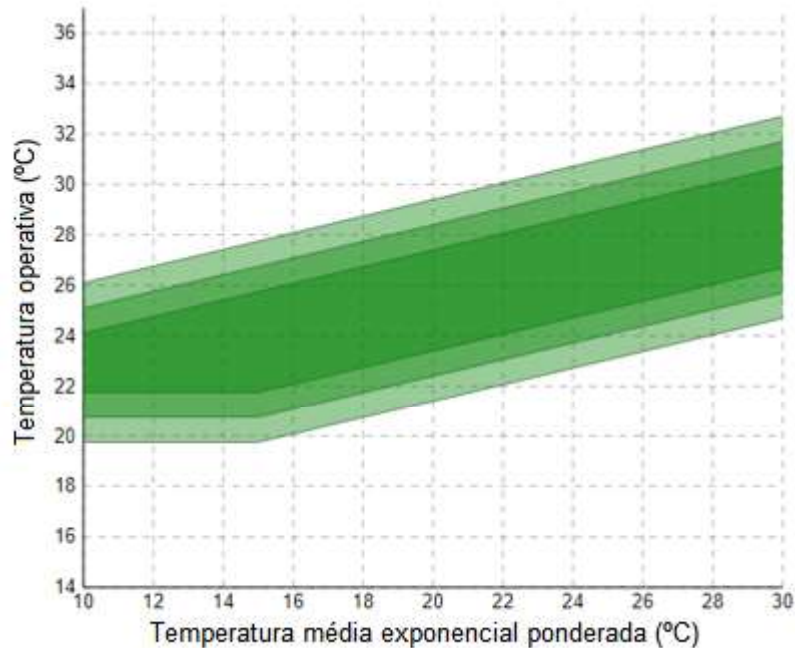
A norma EN 15251 (2007) recomenda o valor de α de 0,8 e a ASHRAE 55 (2013) recomenda o uso de valores entre 0,6 e 0,8 (PIRES, 2015).

Diferentemente da ASHRAE 55 (2013), a norma europeia EN 15251 (2007) utiliza dados do projeto europeu Smart Controls and Thermal Comfort (SCAT) coletados em cinco países europeus durante o mesmo período. A temperatura de conforto resultante destas pesquisas e utilizada pela norma pode ser observada na Equação 7.

$$Tconf = 18,8 + 0,33 * Tme \quad (7)$$

A norma EN 15251 utiliza a temperatura média exponencial ponderada. A Figura 3 mostra a faixa de conforto da norma EN 15251, em função da temperatura operativa e da temperatura média exponencial ponderada.

Figura 3 – Intervalos de temperatura interna aceitável para ambientes naturalmente ventilados da norma EN 15251.



Fonte: Adaptado de CBE THERMAL COMFORT TOOL, 2017.

A temperatura média exterior exponencialmente ponderada é calculada a partir da temperatura de conforto e do clima externo.

A norma brasileira 16401-2 (NBR 16401-2, 2008) que ainda está em fase de revisão pelo Laboratório de Eficiência Energética e Edificações (LabEEE), apresenta um método para ambientes ventilados naturalmente, segue alguns critérios como: não deve existir nenhum tipo de sistema de condicionamento artificial, ocupantes devem desenvolver atividades sedentárias (taxas metabólicas entre 1,0 e 1,3 met), os ocupantes podem variar a sua vestimenta (faixa de 0,5 – 1,0 clo) e a temperatura média predominante do ar externo deve estar dentro do intervalo entre 10,0°C e 33,5°C.

A determinação das linhas de aceitabilidade de 80 e 90% para essa norma brasileira é de acordo as equações apresentadas a seguir, que se diferem por intervalos de temperatura operativa.

$$\text{Limite superior de 80\% de aceitabilidade (}^\circ\text{C)} = 0,31 T_{pma (out)} + 21,3; \quad (8)$$

$$\text{Limite inferior de 80\% de aceitabilidade (}^\circ\text{C)} = 0,31 T_{pma (out)} + 14,3; \quad (9)$$

$$\text{Limite superior de 90\% de aceitabilidade (}^\circ\text{C)} = 0,31 T_{pma (out)} + 20,3; \quad (10)$$

$$\text{Limite inferior de 90\% de aceitabilidade (}^\circ\text{C)} = 0,31 T_{\text{pma (out)}} + 15,3; \quad (11)$$

A temperatura média predominante do ar externo é calculada a partir da Equação 12 que é baseada nas condições climáticas brasileira, e é determinada com base nos sete últimos dias antes do dia em questão.

$$\begin{aligned} t_{\text{mpa(out)}} = & 0,34t_{(od-1)} + 0,23t_{(od-2)} + 0,16t_{(od-3)} + 0,11 t_{(od-4)} + \\ & 0,08 t_{(od-5)} + 0,05t_{(od-6)} + 0,03t_{(od-7)} \end{aligned} \quad (12)$$

Onde:

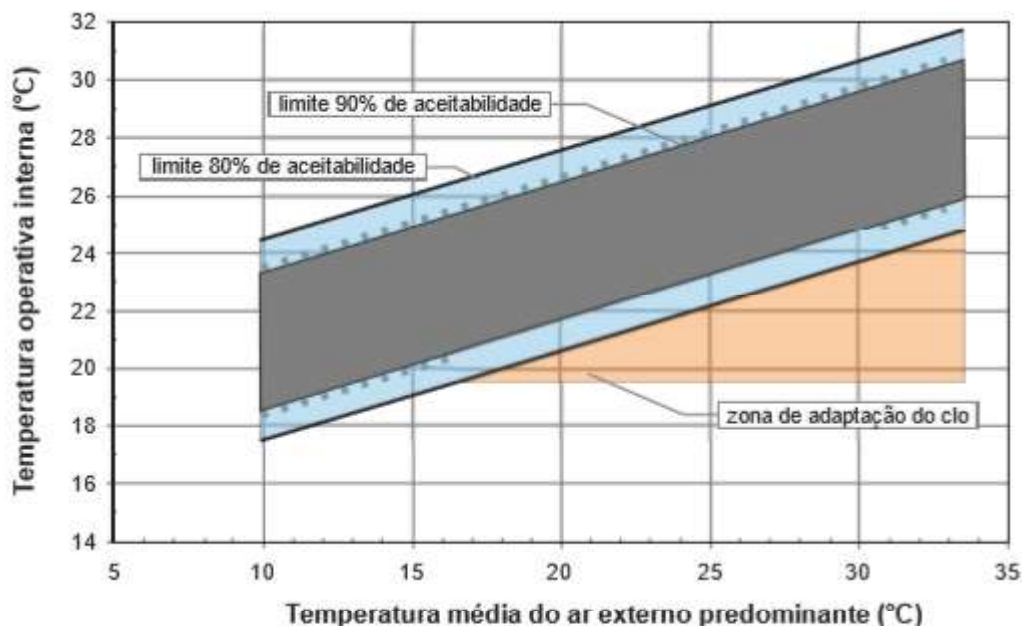
$T_{\text{mpa(out)}}$ é a temperatura média predominante do ar externo;

$t_{(od-1)}$ é a temperatura média do dia anterior ao dia em questão;

$t_{(od-2)}$ é a temperatura média do dia anterior ao $t_{(od-1)}$, e assim por diante.

A Figura 4 apresenta a faixa de temperatura aceitável para ambientes naturalmente condicionados da norma NBR 16401-2. Nesta norma, os efeitos de desconforto térmico local, roupa, atividade metabólica, umidade e velocidade do ar não devem ser analisados isoladamente, pois já foram considerados pelos limites.

Figura 4 – Intervalos de temperatura interna aceitável para ambientes naturalmente ventilados da norma NBR 16401-2.



Fonte: NBR 16401-2 (2008).

2.2 AMBIENTE NATURALMENTE VENTILADOS

As edificações podem ter ventilação mecânica e/ou ventilação natural. A primeira consiste no uso de, por exemplo, condicionadores de ar ou exaustores. Tanto a ventilação mecânica como a natural são técnicas de controle do conforto térmico dos ambientes em espaços de habitação. Na ventilação natural este controle se dá com a diferença de temperatura causada pela diferença de pressão estática e dinâmica que separa os espaços externos e internos de uma edificação. Este movimento de ar é chamado de Efeito Chaminé que acontece em qualquer edificação que possui carga térmica interna, sendo pessoas ou equipamentos, e que conseqüentemente tende ter uma temperatura maior que a externa. Quando existem aberturas, o ar mais frio externo entra e o mais aquecido interno sobe, criando uma ventilação natural.

A circulação de ar causada pela ventilação natural beneficia o conforto térmico em períodos de calor, por manter a qualidade do ar no ambiente interno, gerar resfriamento fisiológico nos usuários e também por diminuir a carga térmica interna por meio das trocas de calor. Já em períodos frio e com muito calor esta circulação de ar pode gerar desconforto.

O impacto causado pela ventilação natural pode ser analisado por medições e associações com os índices de conforto (analítico ou numérico), simulações em câmaras climatizadas, medições e entrevistas com os usuários em ambientes reais. As investigações com

índices de conforto estudam as melhores condições de velocidade e temperatura aceitáveis para o aperfeiçoamento de estratégias e sistemas de ventilação.

As câmaras climatizadas são utilizadas para realização de pesquisas, onde as variáveis ambientais e os pessoais ou subjetivas são controladas pelo próprio pesquisador para estimar da melhor condição de conforto térmico.

Nas pesquisas em ambientes reais, o pesquisador não controla as variáveis, sendo os próprios usuários que expressam suas sensações e preferências térmicas em escalas apropriadas enquanto exercem suas atividades rotineiras.

Com a análise de dados foi observado que os ocupantes de um ambiente naturalmente ventilados são mais tolerantes as variações diárias de temperatura por conta da possibilidade de exercer controle sobre seu ambiente. Enquanto em ambientes condicionados, os ocupantes não toleram variações bruscas de temperatura preferindo ambientes estáticos termicamente. Observou-se que a temperatura preferida pelos usuários está bem próxima da externa em alguns casos não extremos, principalmente nas edificações naturalmente ventiladas (NICOL *et al*, 1999; MCCARTNEY; NICOL, 2002).

Com a análise de dados de Nicol e Humphreys observou-se que a temperatura de conforto dos ocupantes de um edifício naturalmente ventilado está bem próxima da temperatura externa. A preferência é por temperaturas que oscilem perto da amplitude térmica diária e sazonal, acompanhando as características climáticas do local. Isto em decorrência da combinação da sensação térmica dos ocupantes e do processo de termorregulação dos mesmos. Logo, constatou-se que a temperatura de conforto em ambientes naturalmente ventilados é em função da temperatura externa, sendo descrita por equações lineares.

O ambiente térmico em ambientes naturalmente ventilados sempre muda com o clima ao ar livre. Com a análise pelo conforto térmico adaptativo, é visto que a adaptação térmica é um método importante para manter o conforto térmico sob efeitos do ambiente térmico dinâmico. Os ocupantes são livres para modificar o ambiente para obter o conforto térmico dos mesmos. Estes comportamentos adaptativos levam a um requisito variável sobre o conforto térmico, sendo a mudança de temperaturas de conforto em relação a temperaturas externas. Portanto em edifícios naturalmente ventilados, com um padrão de conforto térmico dinâmico, considera faixas de temperaturas internas mais amplas.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A seguir serão apresentados a caracterização do local estudado e os procedimentos metodológicos utilizados para o presente trabalho.

3.1 DEFINIÇÃO DO CLIMA DA CIDADE DE ARARANGUÁ-SC

O clima predominante no estado de Santa Catarina é o subtropical, que é caracterizado por temperaturas amenas podendo variar entre 13 a 25°C. Os índices pluviométricos são relativamente elevados e bem distribuídos no decorrer do ano. As estações do ano são bem distintas, tendo verões quentes e invernos rigorosos com ocorrência de neve em altas altitudes.

A cidade de Araranguá apresenta clima quente e temperado, tendo uma pluviosidade significativa ao longo do ano, com sua máxima no mês de maio. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger o clima é classificado como Cfa (Grupo C- clima subtropical úmido). A temperatura média anual varia de 19 a 20°C e a 1.300-1.500 mm de pluviosidade média anual. A temperatura mais alta do ano se dá no mês de janeiro tendo como média 23,6°C, e a temperatura mais baixa é no mesmo de julho, com uma temperatura média de 14,8°C (EPAGRI, 2018).

Os ventos mais velozes são do quadrante sul, oriundos das massas de ar Tropical Marítima e Polar Marítima do Atlântico, responsáveis pela entrada de frentes frias e o ar do Polar Marítimo. Porém a maior predominância dos ventos é do quadrante norte. A umidade relativa média anual de Araranguá varia de 80 e 82% que está relacionada com a atuação de ar Polar Marítima e a influência da maritimidade (MENDONÇA; LOMBARDO, 2008; PIRES, 2015).

3.2 EDIFICAÇÃO ANALISADA

A análise de conforto térmico pelo método adaptativo deste trabalho foi feita em uma Planta Piloto Bioclimática que está localizada no Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde (CTS) na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Esta edificação foi construída com o conceito de alto grau de eficiência energética e arquitetura bioclimática. Esta possui cor branca, interna e externamente, três tipos de paredes e duas coberturas distintas (BILÉSIMO, 2019). A Tabela 1 exhibe as particularidades construtivas

da envoltória da Planta Piloto Bioclimática, como o material da envoltória e suas camadas, e também seu coeficiente global de transferência de calor (U).

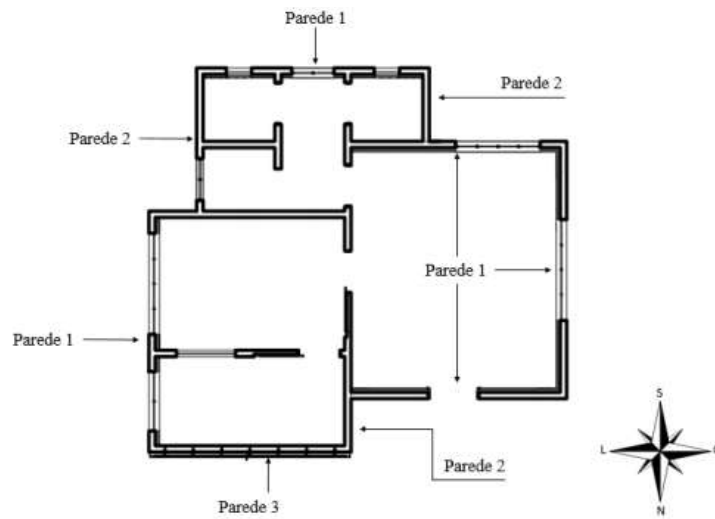
Quadro 1- Características construtivas da envoltória da edificação.

| Estrutura | Principal característica | Camadas (da externa para a interna) | U (W/m².°C) |
|------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Parede 1 | Isolamento térmico | Reboco, tijolo, lã de rocha e gesso cartonado | 0,451 |
| Parede 2 | Parede comum | Reboco, tijolo e reboco | 1,665 |
| Parede 3 | Fachada ventilada | Cerâmica, câmara de ar, reboco, tijolo e reboco | 1,448 |
| Cobertura 1 | Telhado vegetado | Gramínea, terra, brita, concreto, EPS e reboco | 0,281 |
| Cobertura 2 | Isolamento termoacústico | Telha metálica com poliuretano, câmara de ar não ventilada, laje pré-moldada e EPS e reboco | 0,394 |

Fonte: Bilésimo, 2019.

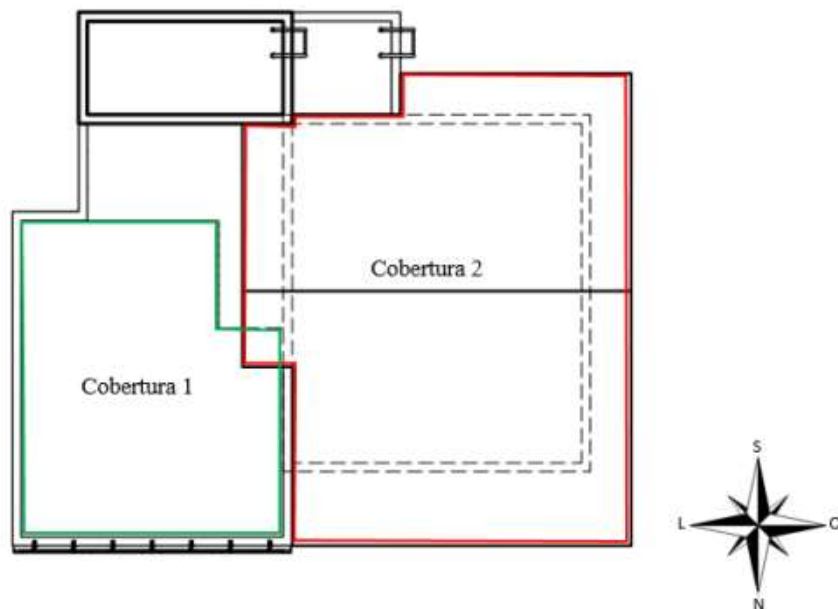
As Figuras 5 e 6 ilustram a planta da edificação mostrando a localização de cada tipo de parede e o posicionamento das coberturas na edificação, respectivamente.

Figura 5 - Composição da envoltória da Planta Piloto Bioclimática.



Fonte: Bilésimo, 2019.

Figura 6 - Localização das coberturas na Planta Piloto Bioclimática.



Fonte: Bilésimo, 2019.

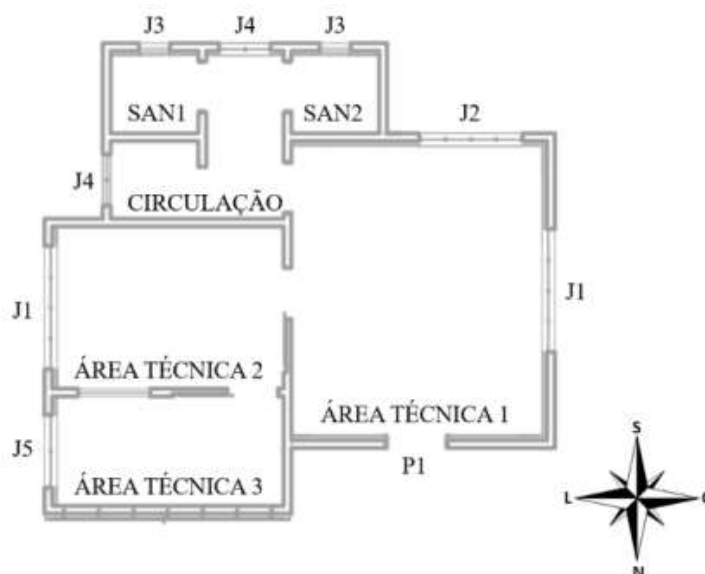
As normas Standard 55 (2013), EN 15251 (2007) e NBR 16401-2 exigem alguns critérios para a análise do conforto térmico adaptativo em uma edificação, sendo eles:

- 1) A edificação deve conter janelas operáveis e disponíveis para todos os usuários;
- 2) Os usuários desta edificação devem realizar atividades com taxa metabólica entre 1,0 met a 1,3 met (sentados em um escritório realizando tarefas);
- 3) A edificação não deve possuir equipamento de condicionamento de ar em operação no dia da aplicação do questionário;

Além desses critérios exigidos pela norma, os usuários devem estar disponíveis e dedicados em contribuir para a pesquisa, respondendo o questionário aplicado de forma sincera.

A Planta Piloto foi capaz de atender todos estes critérios, pois possui no total 8 janelas e um ar condicionado que é pouco usado e que não foi ligado nos dias da aplicação. Além disso, os ocupantes realizam diariamente atividades sentados em frente ao computador com poucos movimentos, tendo aproximadamente 5 ocupantes por dia. A Figura 7 ilustra a localização das janelas na edificação.

Figura 7 - Localização das áreas e janelas na edificação.



Fonte: Bilésimo, 2019.

3.3 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

A Planta Piloto Bioclimática possui uma Estação Meteorológica Automática de Superfície que coleta dados de temperatura ambiente e umidade relativa interna e externa, velocidade e direção do vento, radiação solar, entre outros. Os dados coletados pela estação

são armazenados em *dataloggers*. Além disso foi utilizado um termohigrômetro nos dias do experimento para medição da temperatura e umidade relativa interna próximo aos usuários. A Tabela 2 apresenta as principais características dos sensores utilizados nesta etapa.

Quadro 2- Características dos sensores utilizados na avaliação termohigrométrica.

| Equipamento | Modelo/Fabricante | Variável | Resolução | Variação | Precisão nominal (+/-) |
|----------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Estação Meteorológica Automática | Vantage Pro2 Weather Station Davis Instruments | Umidade interna e externa | 1% | 1 a 100% | 3% 4% acima de 90% |
| | | Temperatura interna | 0,1°F 0,1°C | 32° a 140°F 0 a 60°C | 1°F 0,5°C |
| | | Temperatura externa | 0,1°F 0,1°C | -40° a 150°F -40° a 65°C | 1°F 0,5°C |
| Termohigrômetro | AK172/ AKSO | Umidade | 0,1% | 0 a 100% | 3% |
| | | Temperatura | 0,1°C | -40° a 70°C | 1°C |

Fonte: Bilésimo, 2019.

3.4 TRATAMENTO DE DADOS

A seguir estão descritas as variáveis ambientais utilizadas para a análise dos votos. Os votos foram obtidos através quatro questionários sugeridos pelo projeto da NBR 16401-2 (anexado no final do trabalho), aplicados para os ocupantes no período da manhã em um período frio e um período quente para comparação. Os questionários foram aplicados apenas no período da manhã, das 9:30 as 11:30, por conta da medição de temperaturas mais baixas no período de frio e a fim de comparação foi feito o mesmo para o período quente apesar do alcance de altas temperaturas no período da tarde. Os dados para estes foram obtidos através dos equipamentos citados anteriormente.

3.4.1 Temperatura do ar (Tar)

É uma variável determinante para a análise do conforto térmico, contribuindo para a sensação térmica dos seres humanos. Pode ser definida como a condição básica que determina o fluxo de calor entre os corpos (ISO DIS 7726, 1996). Pode ser denominada como Temperatura seca ou Temperatura de Bulbo Seco (TBS), e é medida em °C (centígrados). O equipamento

utilizado foi o Termohigrômetro para medição da temperatura do ar interna, e a Estação Meteorológica Automática para a temperatura externa.

A temperatura do ar resultante do balanço energético entre a superfície da terra e a atmosfera, pode variar de acordo com condições atmosféricas como a umidade do ar, gases provenientes das emissões dos processos de combustão, vapor de água e outros; como também pode variar de acordo com a altitude.

Considerando um ambiente de escritório que apresenta equipamentos em seu interior com baixa emissão de radiação, a temperatura do ar pode ser considerada igual a temperatura radiante média.

3.4.2 Temperatura média predominante externa

O cálculo da temperatura externa média predominante pode ser calculada a partir da média simples das temperaturas médias diárias do ar, para no mínimo sete dias e no máximo 30 dias antes do dia da aplicação do questionário (ASHRAE, 2013).

A temperatura média predominante externa foi calculada pela Equação 12 de acordo com a norma brasileira NBR 16401-2, por já considerar o contexto climático brasileiro nos seus valores de coeficientes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 3 apresenta o resumo da aplicação do questionário em campo separado por períodos e datas, contabilizando os questionários aplicados, votos, gênero, média de idade e isolamento médio da vestimenta (em clo). É possível generalizar os votos por se tratar de um ambiente de estudo com uma pequena quantidade de pessoas e pouca variação durante o ano, ou seja, o ambiente é composto pelas mesmas pessoas no começo e final do ano.

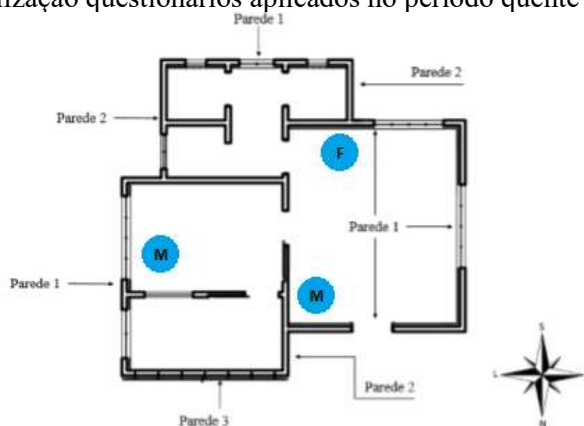
Quadro 3 – Resumo dos dados coletados em campo.

| Período | Data | Quest. aplicados | Gênero | | Média de idade | Isol. médio da vestimenta (clo) |
|---------|------------|------------------|--------|---|----------------|---------------------------------|
| | | | F | M | | |
| Quente | 16/05/2019 | 3 | 1 | 2 | 31 | 0,500 |
| | 22/05/2019 | 4 | 3 | 1 | 28,5 | 0,552 |
| Frio | 10/07/2019 | 2 | 1 | 1 | 23,5 | 0,910 |
| | 16/07/2019 | 2 | 1 | 1 | 31 | 0,795 |

Fonte: da autora

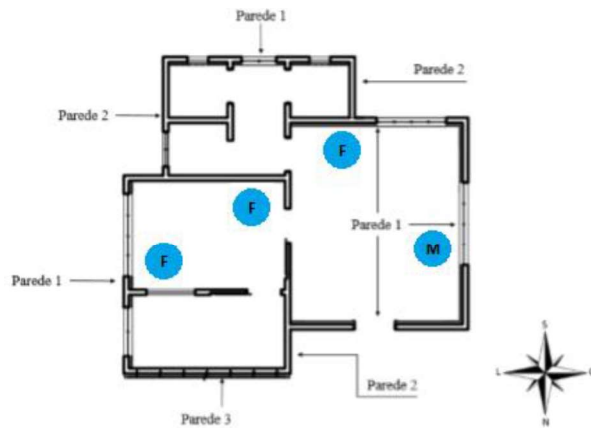
Nas Figuras de 8 a 11 estão ilustradas as posições de cada indivíduo no dia da aplicação do questionário na planta da edificação nos dois dias de período quente e dois dias de período frio.

Figura 8 - Localização questionários aplicados no período quente no dia 16/05/2019



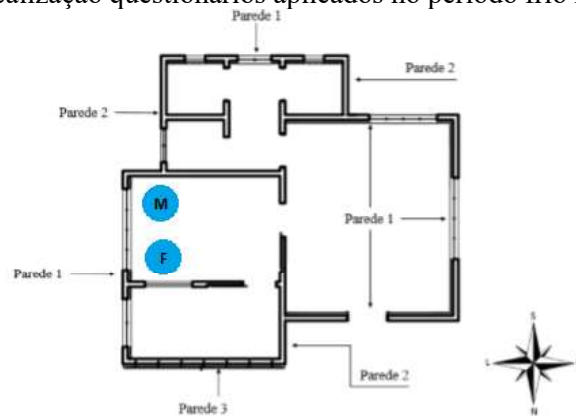
Fonte: Adaptado de Bilésimo, 2019.

Figura 9 - Localização questionários aplicados no período quente no dia 22/05/2019.



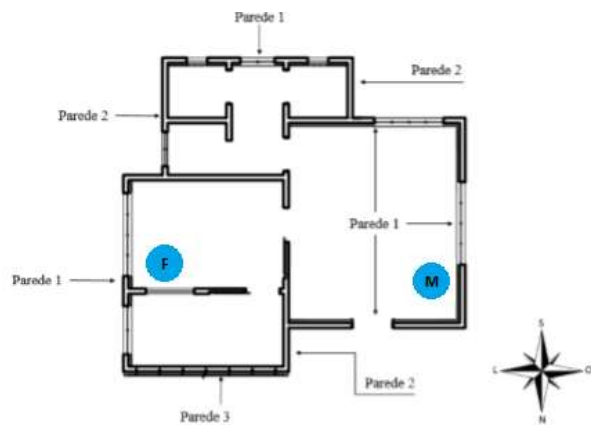
Fonte: Adaptado de Bilésimo, 2019.

Figura 10 - Localização questionários aplicados no período frio no dia 10/07/2019.



Fonte: Adaptado de Bilésimo, 2019.

Figura 11 - Localização questionários aplicados no período frio no dia 16/07/2019.



Fonte: Adaptado de Bilésimo, 2019.

4.1 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

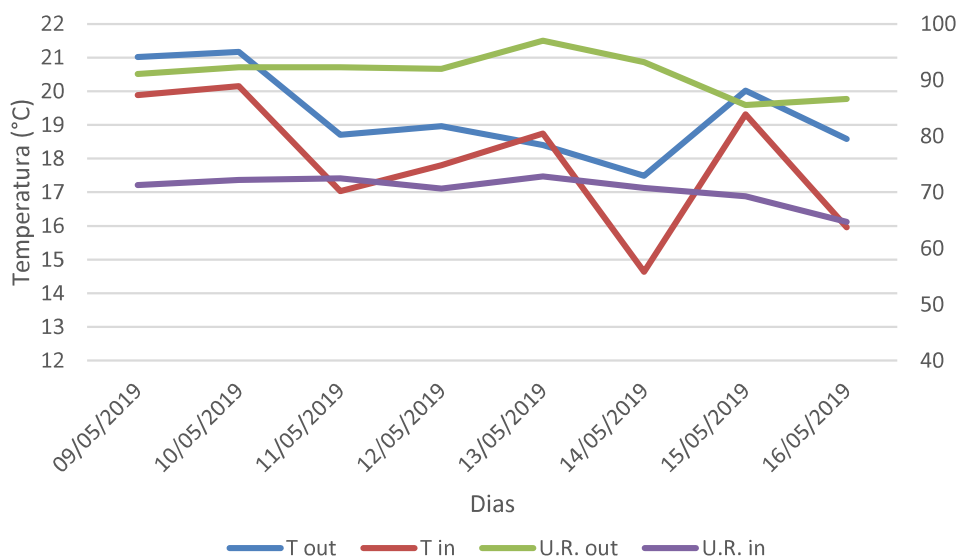
Foram analisadas as temperaturas do ar e umidades relativas externas e internas para os sete dias anteriores a aplicação do questionário no período quente e frio. Para a análise da temperatura do ar interna considerou apenas o período de aplicação do questionário, ou seja, das 9:30 as 11:30 da manhã, a fim de mostrar sua influência nos votos. A Figura 12 apresenta a variação das médias das temperaturas nos dias anteriores a primeira aplicação do questionário no período quente no dia 16 de maio de 2019. Nota-se que a temperatura média externa teve uma variação de 17,50 a 21,16 °C, e a temperatura média interna de 14,63 a 20,14 °C. A umidade relativa média externa variou de 85,53 a 97,00 % e a interna de 64,73 a 72,84 %. Na Tabela 1 a seguir mostra a média das temperaturas como a umidade relativa no primeiro dia de aplicação no período quente.

Tabela 1 – Média das temperaturas e umidade relativa externas e internas no dia 16 de maio de 2019.

| Temp. externa (°C) | Temp. interna (°C) | U.R. externa (%) | U.R. interna (%) |
|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| 18,58 | 15,96 | 86,61 | 64,74 |

Fonte: da autora

Figura 12 – Média da temperatura do ar e umidade relativa externa e interna nos dias anteriores ao primeiro dia de aplicação do período quente.



Fonte: da autora

Nota-se pela Tabela 1 que as temperaturas internas e externas não obtiveram valores muito alto para um período quente de aplicação do questionário, porém comparado os resultados do período frio pode-se fazer esta consideração. Outra explicação é que como o experimento foi feito no período da manhã, não são atingidas temperaturas tão elevadas como no período da tarde considerando o clima de Araranguá-SC.

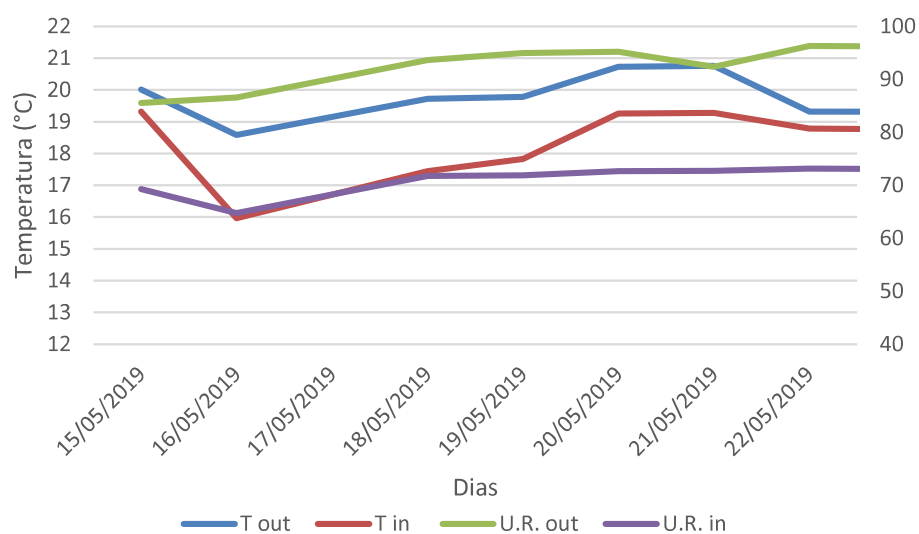
A Figura 13 apresenta a variação das temperaturas interna e externa, e umidade relativa interna e externa dos dias anteriores ao segundo dia de aplicação do questionário no dia 22 de maio de 2019, que foi considerado um dia quente na pesquisa. A temperatura média externa teve uma variação de 18,58 a 20,75 °C, e a temperatura média interna do ar de 15,96 a 19,32°C. Observa-se que neste período a temperatura interna do ar interna teve maior variação em comparação com a temperatura externa. A umidade relativa externa ficou entre 85,53 e 96,27 %, e a interna entre 64,73 a 73,13 %. A Tabela 2 está a média dessas variáveis no segundo dia de experimento.

Tabela 2 – Média das temperaturas e umidade relativa externas e internas no dia 22 de maio de 2019.

| Temp. externa (°C) | Temp. interna (°C) | U.R. externa (%) | U.R. interna (%) |
|-------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 19,31 | 18,78 | 96,27 | 73,13 |

Fonte: da autora

Figura 13 – Média da temperatura do ar e umidade relativa externa e interna nos dias anteriores ao segundo dia de aplicação do período quente.



Fonte: da autora

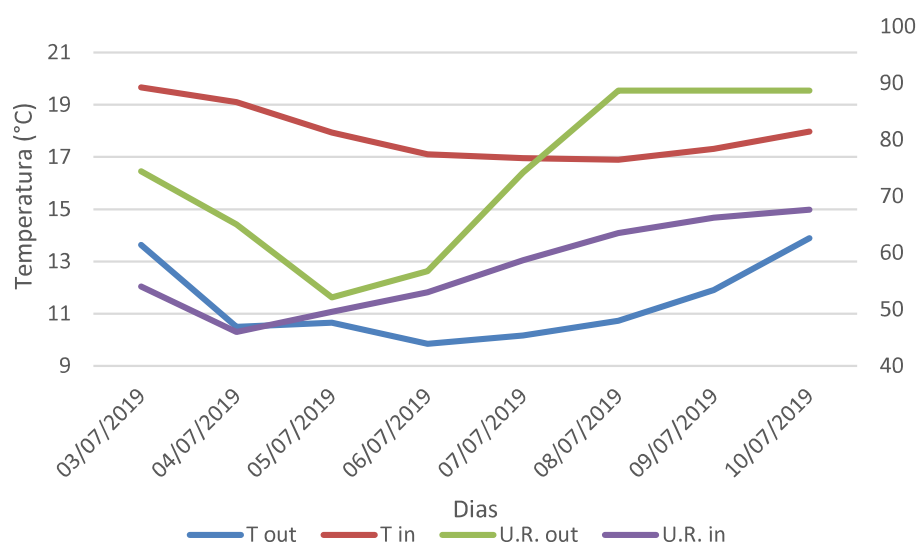
A Figura 14 apresenta a variação das médias das temperaturas e umidades relativas, externas e internas, para o primeiro dia de aplicação do questionário no período frio no dia 10 de julho de 2019. A temperatura média do ar externa obteve valores menores que no período quente variando de 9,85 a 13,89 °C, e a temperatura média do ar interna de 16,89 a 19,66 °C. A umidade relativa média externa teve uma variação de 52,11 a 88,66 %, e a interna de 45,98 a 67,63 %. A Tabela 3 apresenta os valores médios das temperaturas e umidades relativas do primeiro dia de aplicação do questionário no período frio.

Tabela 3 – Média das temperaturas e umidade relativa externas e internas no dia 10 de julho de 2019.

| Temp. externa (°C) | Temp. interna (°C) | U.R. externa (%) | U.R. interna (%) |
|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| 13,89 | 17,97 | 88,66 | 67,63 |

Fonte: da autora

Figura 14 – Média da temperatura do ar e umidade relativa externa e interna nos dias anteriores ao primeiro dia de aplicação do período frio.



Fonte: da autora

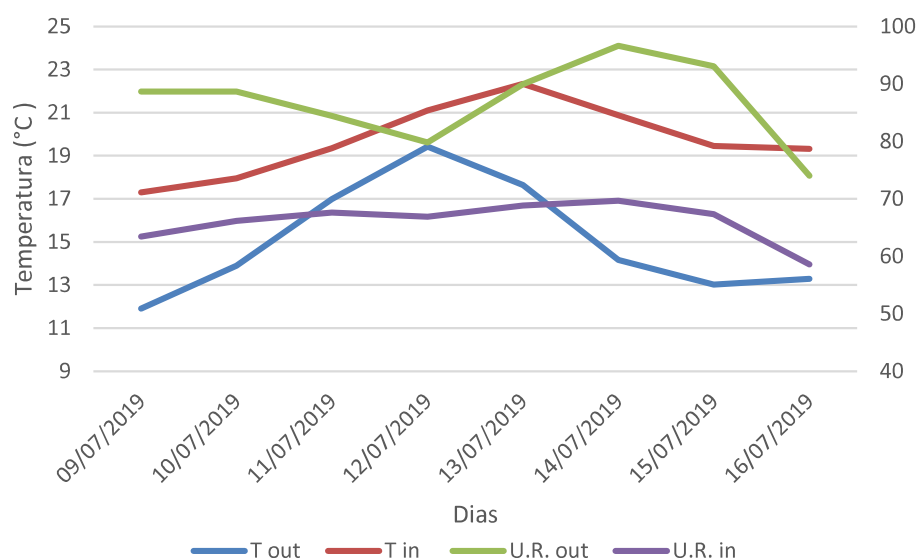
A Figura 15 mostra a variação das médias das temperaturas e umidades relativas, externas e internas no segundo dia de aplicação do questionário no dia 16 de julho, um dia considerado de período frio. A temperatura média externa teve uma variação de 11,91 a 19,42 °C, e a temperatura média do ar interno de 17,29 a 22,34 °C. A umidade relativa média externa variou de 74,01 a 96,63 % e a interna de 58,58 a 69,71 %. A Tabela 4 mostra os valores médios do segundo dia de aplicação no período frio.

Tabela 4 – Média das temperaturas e umidade relativa externas e internas no dia 16 de julho de 2019.

| Temp. externa (°C) | Temp. interna (°C) | U.R. externa (%) | U.R. interna (%) |
|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| 13,28 | 19,32 | 74,01 | 58,58 |

Fonte: da autora

Figura 15 – Média da temperatura do ar e umidade relativa externa e interna nos dias anteriores ao segundo dia de aplicação do período frio.



Fonte: da autora

4.1 ANÁLISE DE VOTOS

A seguir estão avaliadas as variáveis subjetivas de acordo com as variáveis ambientais obtidas no momento do voto nos questionários. Foram registrados 77 votos fornecidos pelos 11 questionários aplicados em 4 dias de levantamento de dados em campo, durante duas horas no período da manhã.

4.2.1 Sensação térmica

Sensação térmica é a expressão subjetiva consciente da percepção térmica de um ocupante em relação a um ambiente, demonstrada na escala sétima de conforto térmico (LAMBERTS, 2016). No questionário foi abordado como “Qual é a sensação térmica neste momento?”, onde podiam assinalar as seguintes categorias de acordo com a escala sétima de sensação térmica: com muito calor (3), com calor (2), levemente com calor (1), neutro (0), levemente com frio (-1), com frio (-2), com muito frio (-3). A Tabela 5 mostra a escala sétima de sensação térmica da ASHRAE.

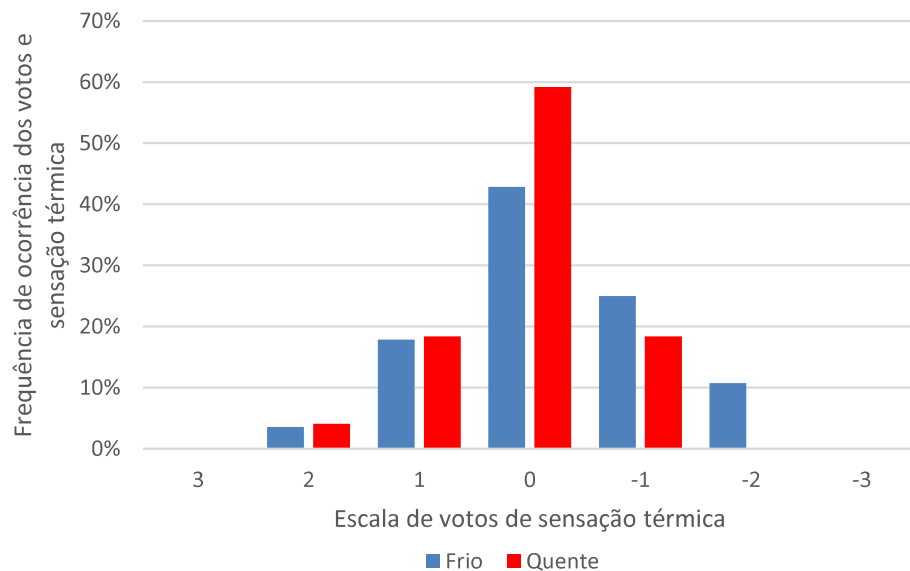
Tabela 5 - Escala sétima de sensação térmica da ASHRAE.

| | |
|----------------------------|----|
| Com muito calor | 3 |
| Com calor | 2 |
| Levemente com calor | 1 |
| Neutro | 0 |
| Levemente com frio | -1 |
| Com frio | -2 |
| Com muito frio | -3 |

Fonte: Adaptado de Pires, 2015.

Os votos de sensação térmica foram analisados relacionando-os com a temperatura do ar interna no momento do voto. Nas análises dos votos de sensação térmica observou-se que 59% dos indivíduos pesquisados no período de calor e 43% no período de frio declararam neutros. A distribuição de frequência de ocorrência dos votos de sensação térmica por período da pesquisa (frio e calor) é observada na Figura 16, que traz a escala sétima da ASHRAE utilizada para representar os votos de sensação térmica.

Figura 16 - Frequência de ocorrência dos votos de sensação térmica por período da pesquisa: frio e calor.

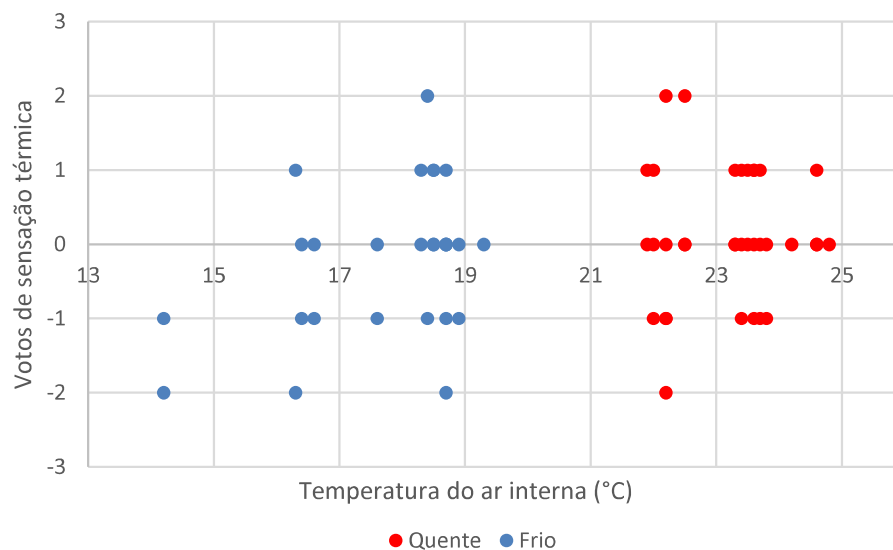


Fonte: da autora

A Figura 17 apresenta-se a distribuição dos votos de sensação térmica da pesquisa nos períodos analisados, de frio e de calor. Nota-se que tanto no período de calor e frio tiveram votos entre “levemente com calor” e “levemente com frio” bem distribuídos. E votos “extremos”, onde pode ser observado que no período de calor teve um voto “com frio” e no

período frio um voto “com calor”, isto pode ser explicado pelo isolamento da vestimenta e pela umidade relativa do ar.

Figura 17 - Distribuição dos votos de sensação térmica por período da pesquisa: frio e calor.



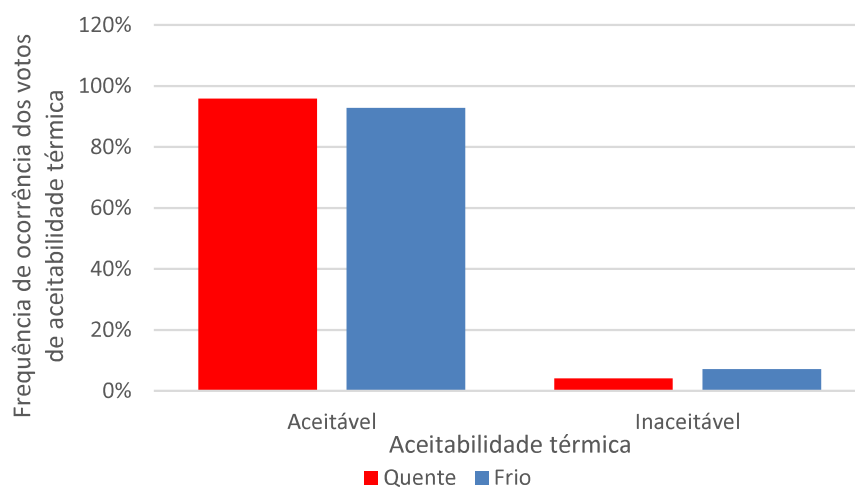
Fonte: da autora

4.2.2 Aceitabilidade térmica

Na pesquisa a aceitabilidade térmica foi questionada ao usuário se ele considera o ambiente “aceitável” ou “inaceitável”. Ou seja, a aceitabilidade térmica pode ser definida como a satisfação térmica com o ambiente e é usada para determinar o intervalo de temperatura aceitável, isto é, a zona de conforto do ambiente térmico (PIRES, 2015).

A Figura 18 apresenta a frequência de ocorrência dos votos de aceitabilidade térmica, sendo aceitável ou inaceitável. Nota-se uma grande frequência de votos aceitáveis tanto no período quente e frio, 96 e 93% respectivamente. Já os votos dos ocupantes que consideraram o ambiente térmico inaceitável resultaram-se em 4% no período quente e 7% no período frio.

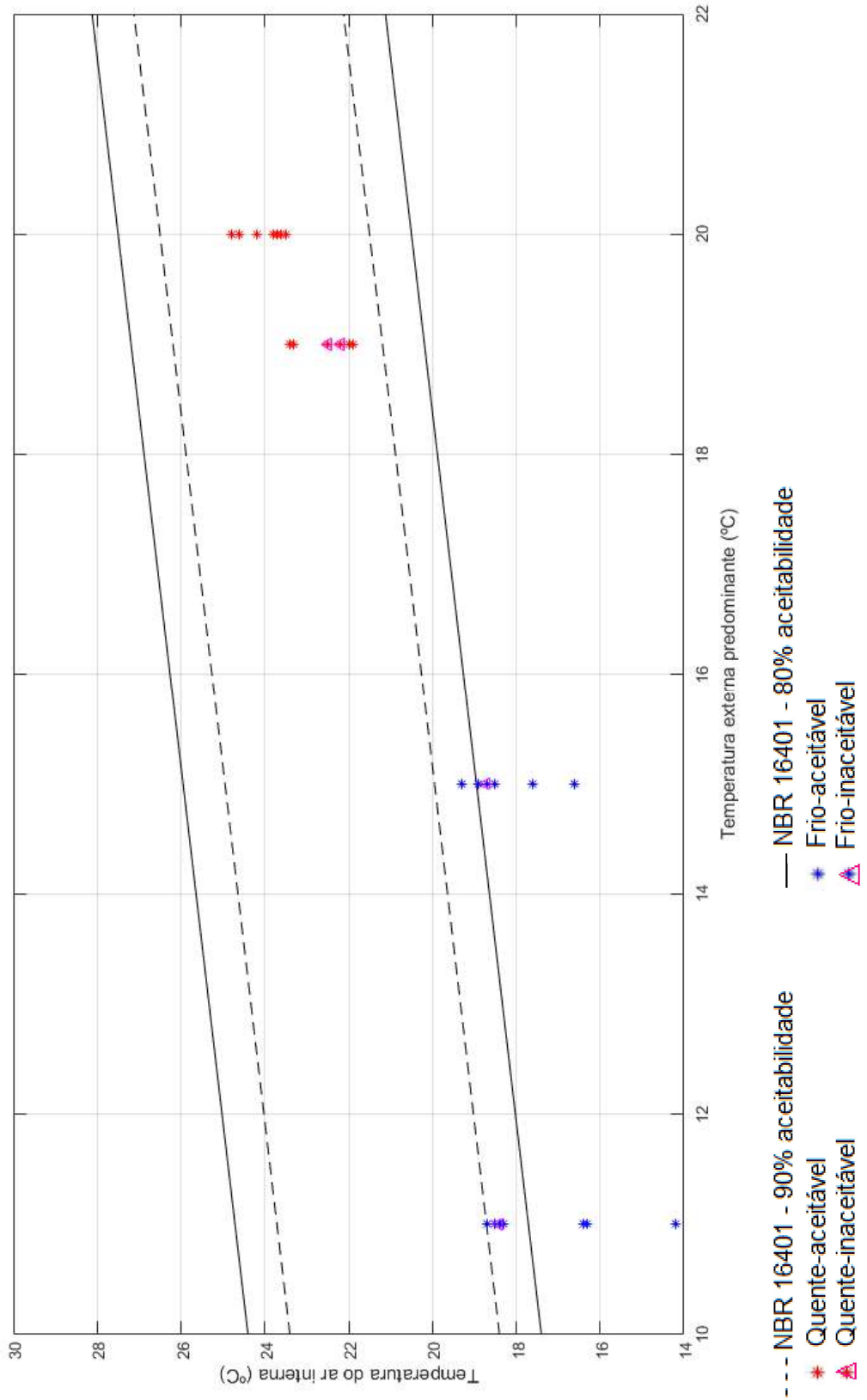
Figura 18 – Frequência de ocorrência dos votos de aceitabilidade térmica nos dois períodos: quente e frio.



Fonte: da autora

A Figura 19 mostra os votos absolutos de aceitabilidade térmica relacionados aos intervalos de conforto nas normas NBR 16401-2 (2008).

Figura 19 – Votos de aceitabilidade ao ambiente térmico para toda a população pesquisada.

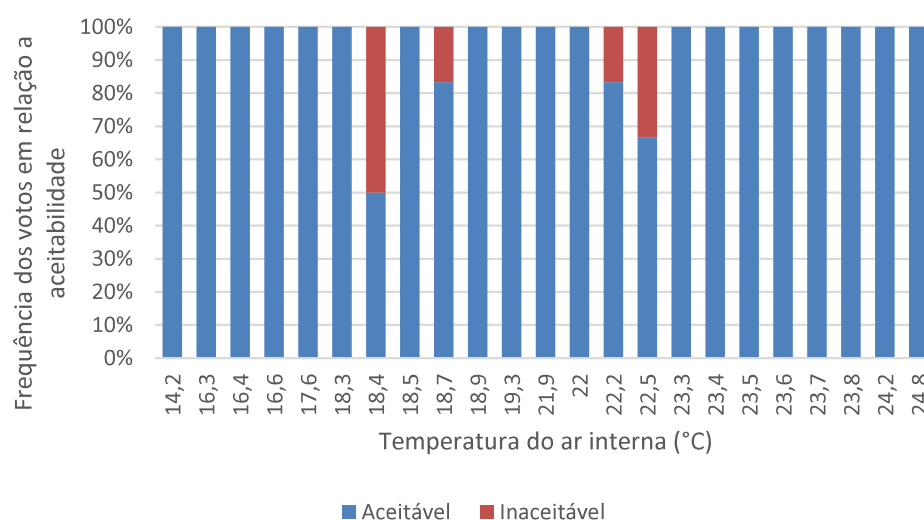


Fonte: da autora

Nota-se que de acordo com a NBR 16401-2, 75% de toda a população investigada considera o ambiente térmico aceitável dentro do limite de 80% de aceitabilidade proposto pela referida norma. Para 90% de aceitabilidade, a parcela da população era de 61%. Observa-se que no período quente 96% dos investigados considera o ambiente térmico aceitável, tendo 4% de votos inaceitáveis. Já no período frio 39% dos investigados declaram aceitabilidade com o ambiente térmico nos limites de 80% da norma, e nenhum voto nos limites de 90% de aceitabilidade. Percebe-se que há votos de aceitação abaixo dos limites inferiores das normas, assim como votos de não aceitabilidade dentro dos intervalos de aceitabilidade estipulados pela norma, tendo dois votos no período quente e um voto no período frio.

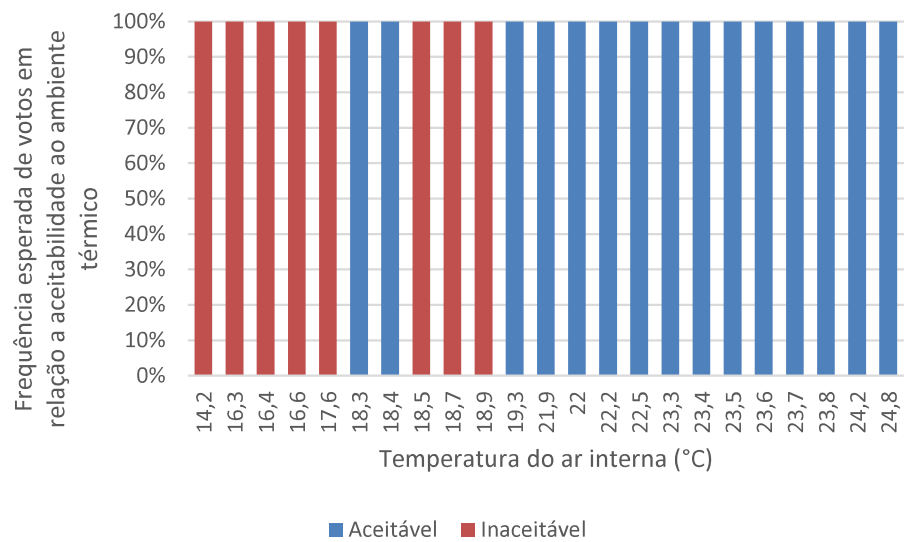
As Figuras 20 e 21 mostram a frequência de ocorrência dos votos de aceitabilidade térmica. A Figura 20 mostra o arranjo percentual dos votos de aceitabilidade térmica obtidos em cada temperatura do ar interna obtida no momento do voto. Já, para comparação, a Figura 21 exibe o desempenho previsto para essa relação entre votos e temperaturas, a partir dos limites de aceitabilidade da NBR 16401-2, mostrando como deveriam ser os votos de aceitabilidade térmica considerando os limites das regressões lineares (PIRES, 2015).

Figura 20 – Distribuição dos votos de aceitabilidade térmica em relação à temperatura do ar interna.



Fonte: da autora

Figura 21 – Comportamento esperado da relação entre votos de aceitabilidade térmica e temperatura do ar interna.



Fonte: da autora

4.2.3 Preferência térmica

Os votos de preferência térmica estimam a sensação térmica desejada a partir da exposição a um ambiente térmico. No questionário de conforto térmico foi abordada como “Como você gostaria de estar se sentindo neste momento?”, no qual as pessoas puderam votar na escala sétima da ASHRAE. Porém, tradicionalmente usa-se a escala de três pontos de McIntyre, sendo ela composta apenas por três categorias: “mais aquecido” (1), “mais resfriado” (-1) e “assim mesmo” (0) (PIRES, 2015). Com isso foi feito um ajuste no voto de preferência térmica de acordo com o procedimento descrito na Tabela 6.

Tabela 6 - Ajuste do voto de preferência térmica inquirido por meio da escala sétima para a escala McIntyre.

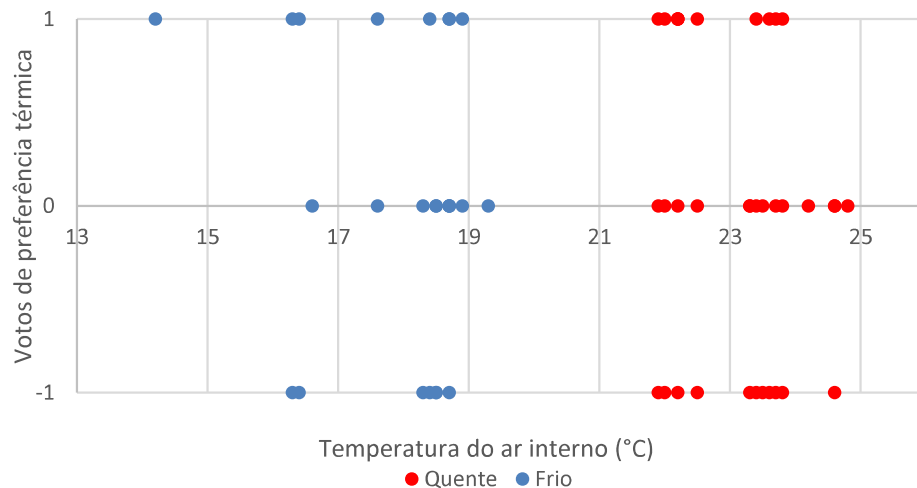
| Escala sétima da ASHRAE | Escala de três pontos de McIntyre |
|----------------------------------------|-----------------------------------|
| Preferência térmica > sensação térmica | “mais aquecido” = 1 |
| Preferência térmica < sensação térmica | “mais resfriado” = -1 |
| Preferência térmica = sensação térmica | “assim mesmo” = 0 |

Fonte: Adaptado de Pires, 2015.

As pesquisas de Indraganti *et al.* (2013) mostraram a tendência na preferência das pessoas, que preferem estarem mais aquecidos em ambientes mais frios e de estarem mais resfriados em ambientes mais quentes. Sendo assim, esperava-se que houvesse clara distinção na preferência dos indivíduos no ambiente analisado (PIRES, 2015). A Figura 22 mostra os

votos absolutos de preferência térmica de toda a pesquisa em relação a temperatura do ar interna na escala de McIntyre.

Figura 22 - Votos absolutos de preferência térmica de toda a pesquisa em relação a temperatura do ar interno na escala de três pontos de McIntyre.

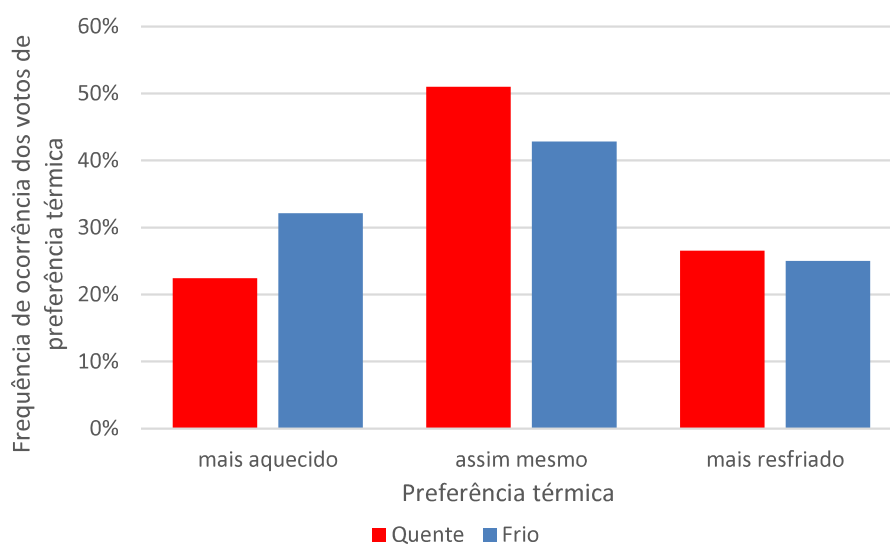


Fonte: da autora

É possível observar que no período frio (indicado em azul), em baixas temperaturas, teve-se votos de “mais frio”. O mesmo caso acontece no período de calor, onde teve-se votos de “mais calor” em temperaturas elevadas. Isto é, mesmo no período de frio algumas pessoas preferem se sentir mais frio e no período de calor as pessoas preferem se sentir com mais calor. Sendo assim, há uma dificuldade em entender a preferência térmica os usuários desta edificação.

A Figura 23 apresenta a frequência de ocorrência dos votos de preferência térmica na escala de três pontos, observa-se que no período quente a maior ocorrência de preferência térmica correspondeu a permanecer “assim mesmo” com 51%, e 27% para manter “mais resfriado”. E no período frio, semelhantemente, nota-se a maior ocorrência em permanecer “assim mesmo” com 43% e “mais aquecido” com 32%.

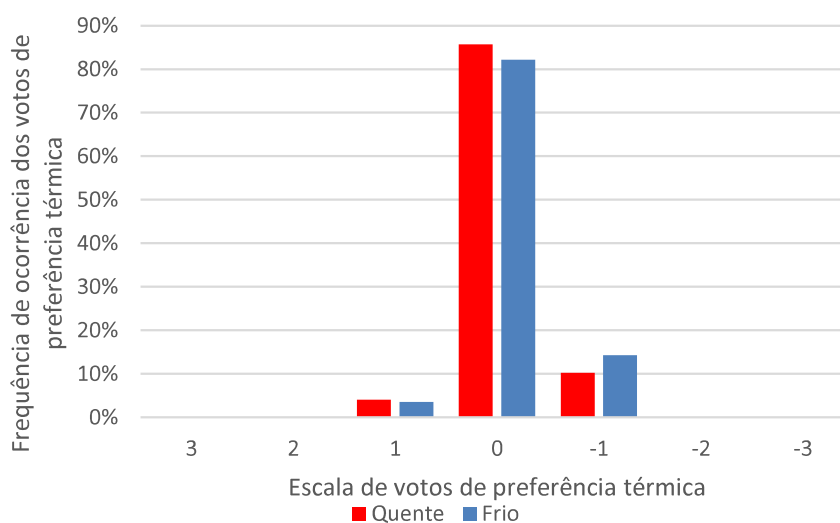
Figura 23 - Frequência de ocorrência dos votos de preferência térmica conforme a escala de três pontos de McIntyre nos dois períodos: quente e frio.



Fonte: da autora

De acordo com a escala sétima de ASHRAE, nota-se na Figura 24 a maior frequência na preferência térmica dos indivíduos em permanecerem neutros, mostrando que a sensação de neutralidade representa o estado de conforto térmico para 86% no período quente e 82% no período frio. Como também mostra alguns votos de “mais frio” e “mais quente”.

Figura 24 - Frequência de ocorrência dos votos de preferência térmica conforme a escala sétima da ASHRAE nos dois períodos: quente e frio.



Fonte: da autora

4.3 ANÁLISE DE INTERVENÇÃO DE CRITÉRIOS PESSOAIS E AMBIENTAIS

A seguir está apresentado a análise das relações entre o voto de sensação térmica, isolamento da vestimenta e parâmetros ambientais às quais os indivíduos pesquisados estão expostos.

4.3.1 Vestimenta

O isolamento térmico da vestimenta representa a resistência térmica à troca de calor sensível apresentada por uma vestimenta, expressa em unidades de clo ou resistência térmica ($m^2.K/W$). Está relacionada com a transferência de calor do corpo como um todo e, portanto, inclui as partes não cobertas como as mãos e a cabeça (NBR 16401-2, 2017).

De acordo com a norma NBR 16401-2, foram determinados os níveis de isolamento da vestimenta dos pesquisados, na Tabela 7 apresenta os valores médios, mínimos e máximos para cada período de pesquisa.

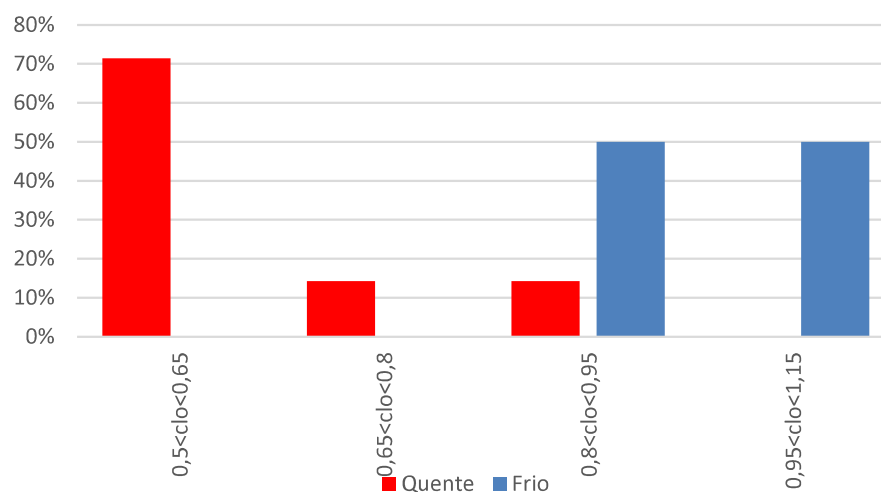
Tabela 7 – Valores médio, máximo e mínimo de isolamento de vestimenta por período de pesquisa.

| Período | Valor médio (clo) | Valor máximo (clo) | Valor mínimo (clo) |
|----------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Quente | 0,63 | 0,82 | 0,53 |
| Frio | 0,95 | 1,14 | 0,8 |

Fonte: da autora

. A Figura 25 apresenta a frequência de ocorrência dos níveis de isolamento da vestimenta pelos indivíduos entrevistados classificados por período da pesquisa.

Figura 25 – Isolamento da vestimenta no período quente e no frio.



Fonte: da autora

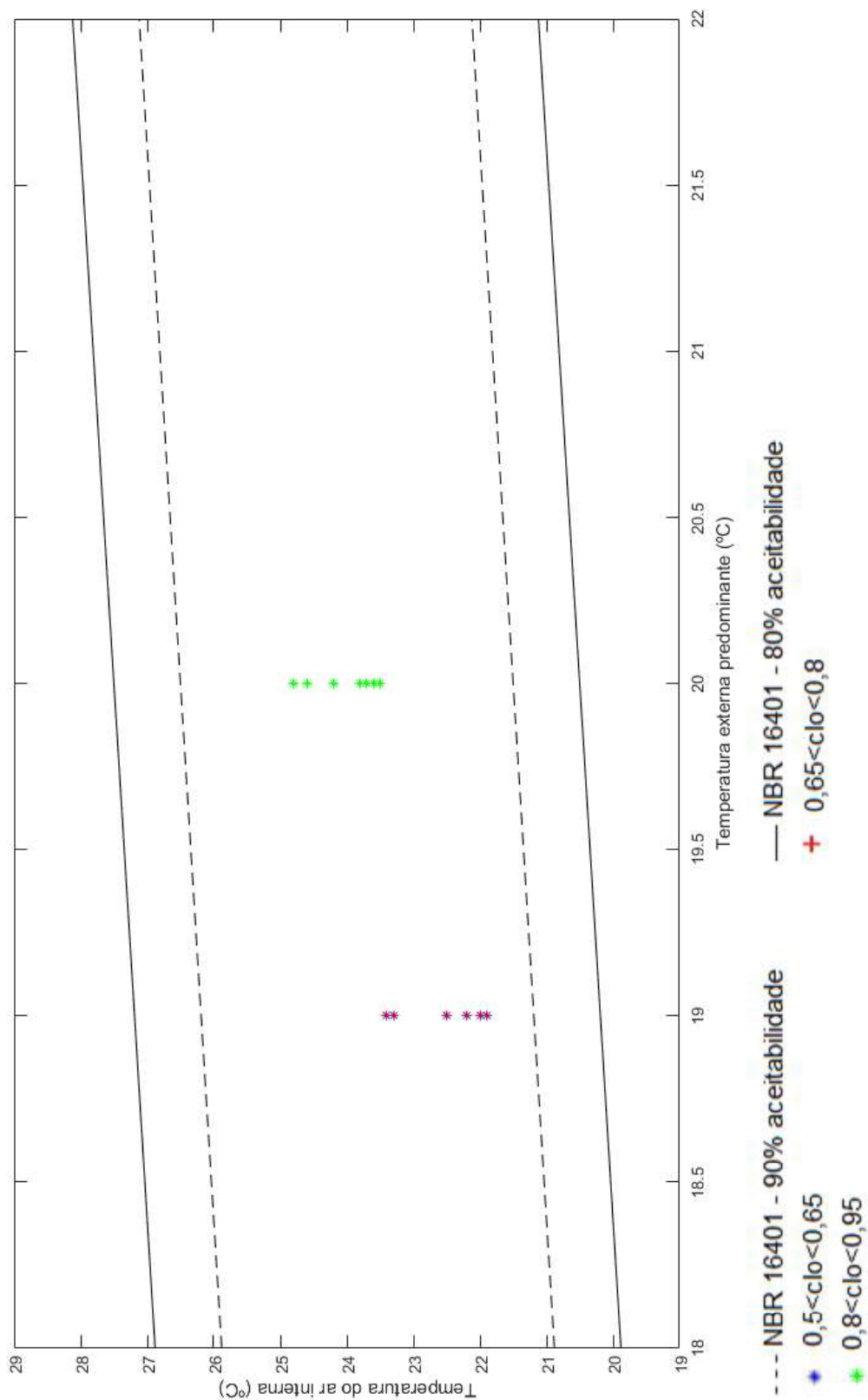
Para o período de calor, quando houve 100% de aceitabilidade ao ambiente térmico, 71% dos investigados vestiam roupas equivalentes o intervalo de 0,5 clo e 0,65 clo, sendo que destes pesquisados, 59% indicaram estar neutros no voto de sensação térmica. Neste período nenhum indivíduo apresentava nível de vestimenta acima de 0,82 clo.

As Figuras 26 e 27 está a distribuição dos votos de aceitabilidade no ambiente térmico analisado relacionados com as temperaturas externas predominantes para cada dia de estudo e as temperaturas do ar interna. No período de calor (Figura 21) onde tiveram 4% dos indivíduos que consideraram o ambiente térmico inaceitável nota-se que estes apresentaram índices de isolamento da vestimenta entre 0,5 < clo < 0,8 em temperaturas de 22 a 23°C. Outros 14% dos entrevistados usavam roupas com níveis de isolamento entre 0,8 < clo < 0,95 em uma temperatura externa predominante de 20°C e temperatura do ar interna entre 23 a 25°C. Ou seja, um alto índice de vestimenta para um período de calor, porém estes consideraram o ambiente termicamente aceitável.

No período de frio (Figura 27) da pesquisa observa-se uma grande parcela dos indivíduos que considera o ambiente termicamente aceitável, mesmo que o ambiente não atenda aos intervalos de aceitabilidade estabelecidos pela NBR 16401-2. Neste período da pesquisa, aproximadamente 61% dos indivíduos pesquisados estão nesta situação. O alto índice de isolamento da vestimenta pode justificar isso, já que 53% de todas as pessoas que consideraram o ambiente termicamente aceitável apresentaram índice de isolamento da vestimenta entre 0,8 < clo < 0,95, e outros 47% vestiam-se com isolamento entre 0,95 < clo < 1,15. Por outro lado, os 7% dos pesquisados que consideraram o ambiente termicamente inaceitável apresentavam

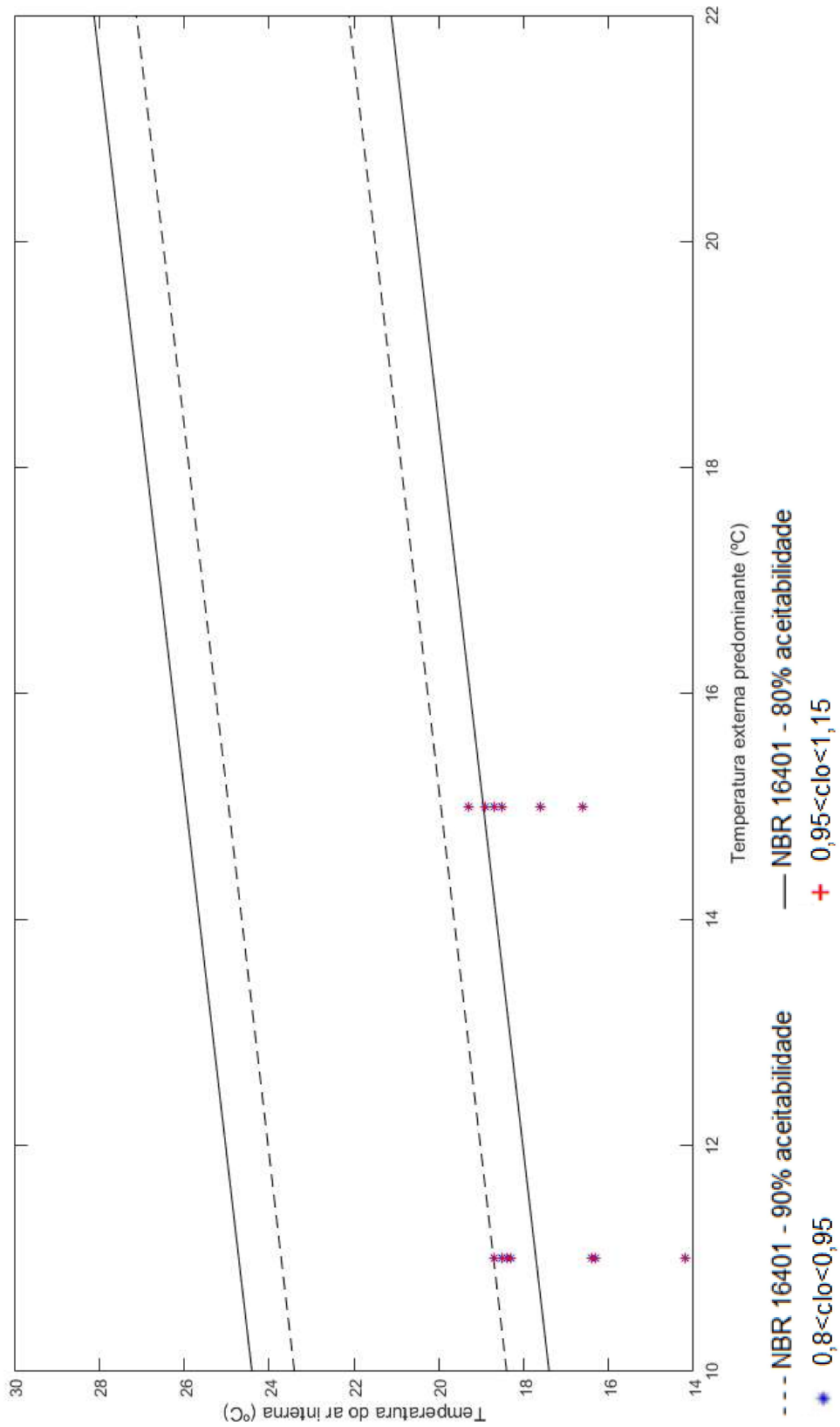
níveis de vestimenta entre $0,8 < clo < 1,15$, isto é, níveis de isolamento de vestimenta altos para as temperaturas registradas nos períodos da pesquisa explicando os votos de não-aceitabilidade.

Figura 26 – Votos de aceitabilidade ao ambiente térmico classificados por isolamento da vestimenta no período quente da pesquisa.



Fonte: da autora

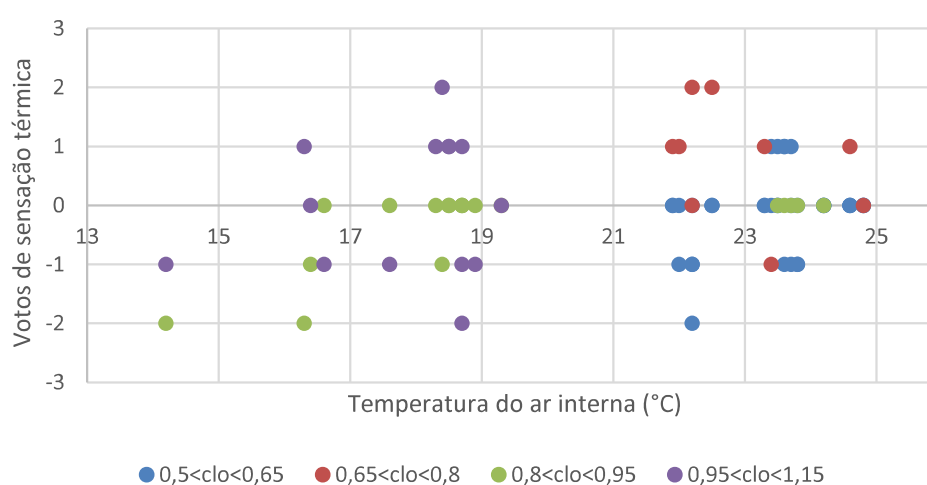
Figura 27 – Votos de aceitabilidade ao ambiente térmico classificados por isolamento da vestimenta no período frio da pesquisa.



Fonte: da autora

A Figura 28 mostra os votos de sensação térmica relacionados com o isolamento da vestimenta dos indivíduos nos períodos pesquisados sendo de calor e frio. Notou-se que 37% dos pesquisados que votaram na sensação térmica como neutros apresentavam níveis de isolamento de vestimenta entre $0,8 < clo < 0,95$. Observa-se que existem alguns “votos extremos” onde a pessoa estava sentindo “com frio” no período de calor e usava níveis de vestimenta com valores baixos e outro voto no período quente onde o indivíduo estava sentindo com calor e usava níveis de vestimenta com valores elevados.

Figura 28 – Votos de sensação térmica classificados por nível de isolamento da vestimenta nos períodos de calor e frio da pesquisa.



Fonte: da autora

De acordo com as Figuras 26 e 27 podemos perceber a grande influência da temperatura predominante externa em relação ao isolamento da vestimenta dos indivíduos. Isto deve-se a memória do clima dos dias anteriores na escolha da vestimenta. Sendo assim conclui-se a sobreposição dos fatores que influenciam nas sensações humanas dificultando o tratamento de forma isolada da intervenção dos parâmetros pessoais e ambientais na sensação térmica (PIRES, 2015).

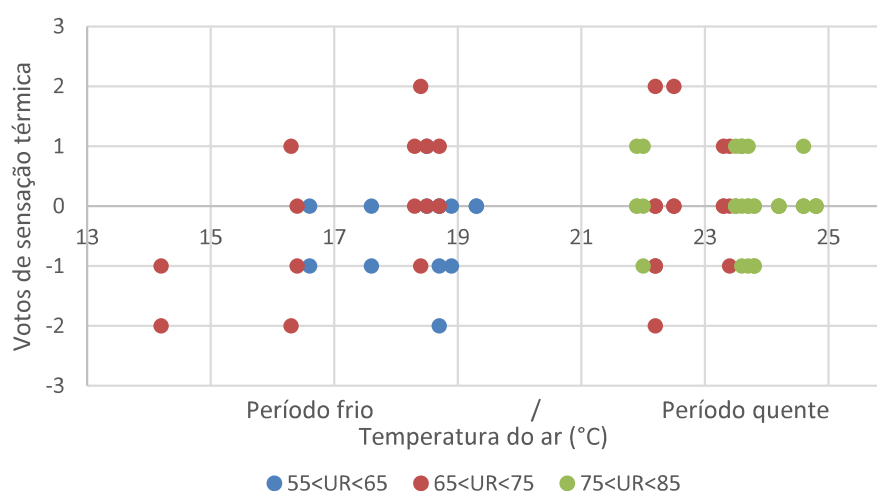
4.3.2 Umidade relativa

A umidade relativa média externa foi de 86,40% para todos os dias pesquisados, sendo uma média de 91,42% para o período quente e 91,38% para o período de frio. A umidade relativa média interna dos dias pesquisados foi de 71,06%, sendo a média do período quente de 76,12% e no período frio de 66,00%. Essas médias foram calculadas a partir dos valores de

umidade relativa externa e interna obtidos pela Estação Meteorológica da Planta Piloto Bioclimática. A umidade relativa pode ter grande influência nos votos de sensação térmica e isto pode ser observado na Figura 24 com os votos de sensação térmica classificados por faixa de umidade nos períodos de calor e frio da pesquisa. Observa-se uma alta umidade relativa entre $75 < UR < 85$ no período de calor.

A Figura 29 estão os votos de sensação térmica classificados por faixa de umidade nos períodos de calor e frio da pesquisa. Nota-se que faixas de umidade relativa menores encontram-se no período de frio, entre 55 a 65 %, e umidade relativa com valores mais elevados no período quente, entre 75 a 85 %.

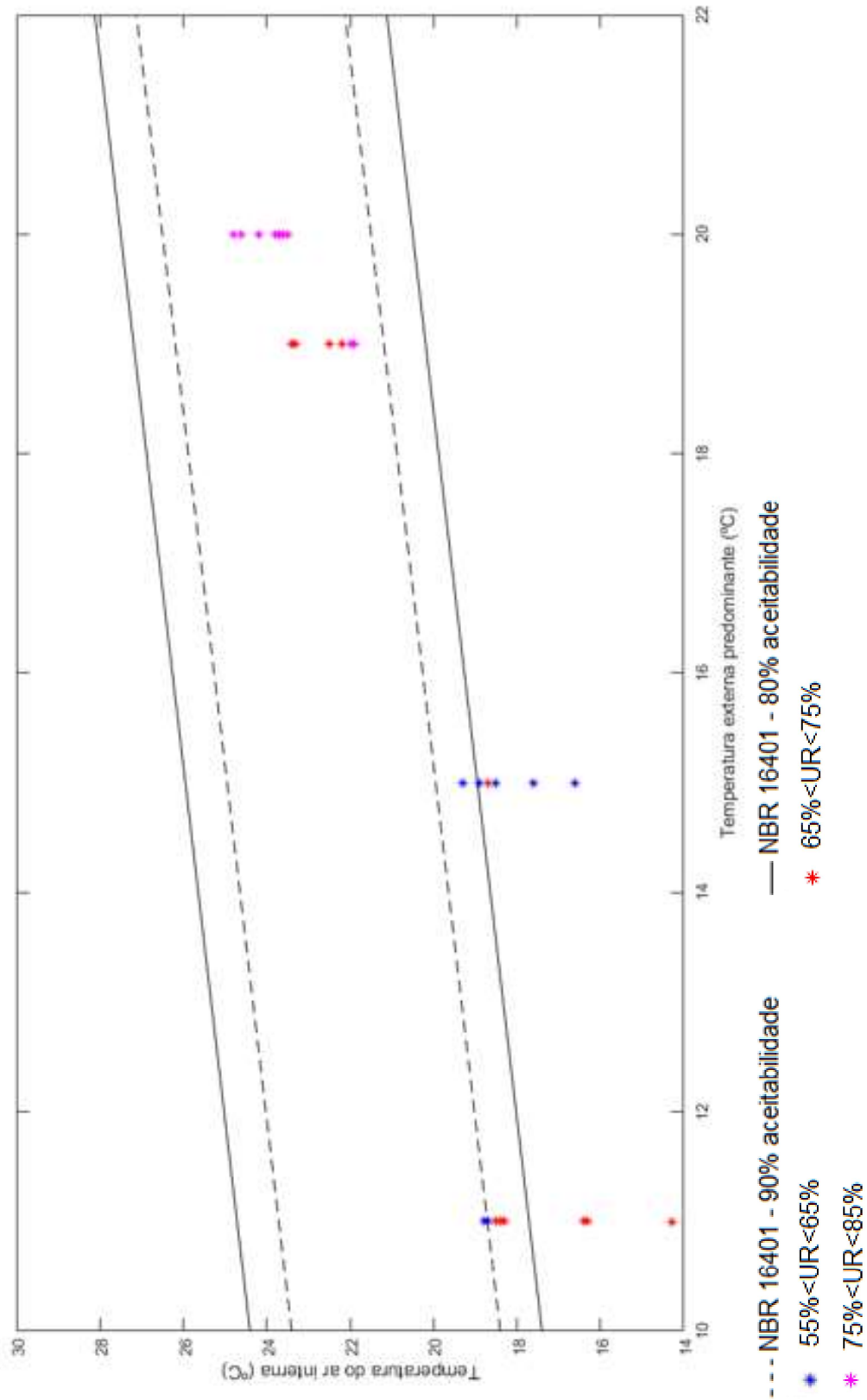
Figura 29 – Votos de sensação térmica classificados por faixa de umidade nos períodos de calor e frio da pesquisa.



Fonte: da autora

A Figura 30 apresenta a distribuição de votos de aceitabilidade dos dois períodos classificados por intervalo de umidade relativa interna. Nota-se dos 17 votos de aceitabilidade fora dos limites norma 53% são de intervalos de umidade relativa entre $55\% < UR < 65\%$, 35% entre $47\% < UR < 75\%$ e nenhum voto acima de 75% de umidade relativa interna. Os 49 votos dentro dos 90% de aceitabilidade da norma, tem em sua grande maioria intervalos de umidade entre $75\% < UR < 85\%$, com temperaturas internas acima de 20°C.

Figura 30 – Votos de aceitabilidade ao ambiente térmico classificados por intervalo de umidade relativa interna no período quente e frio da pesquisa.

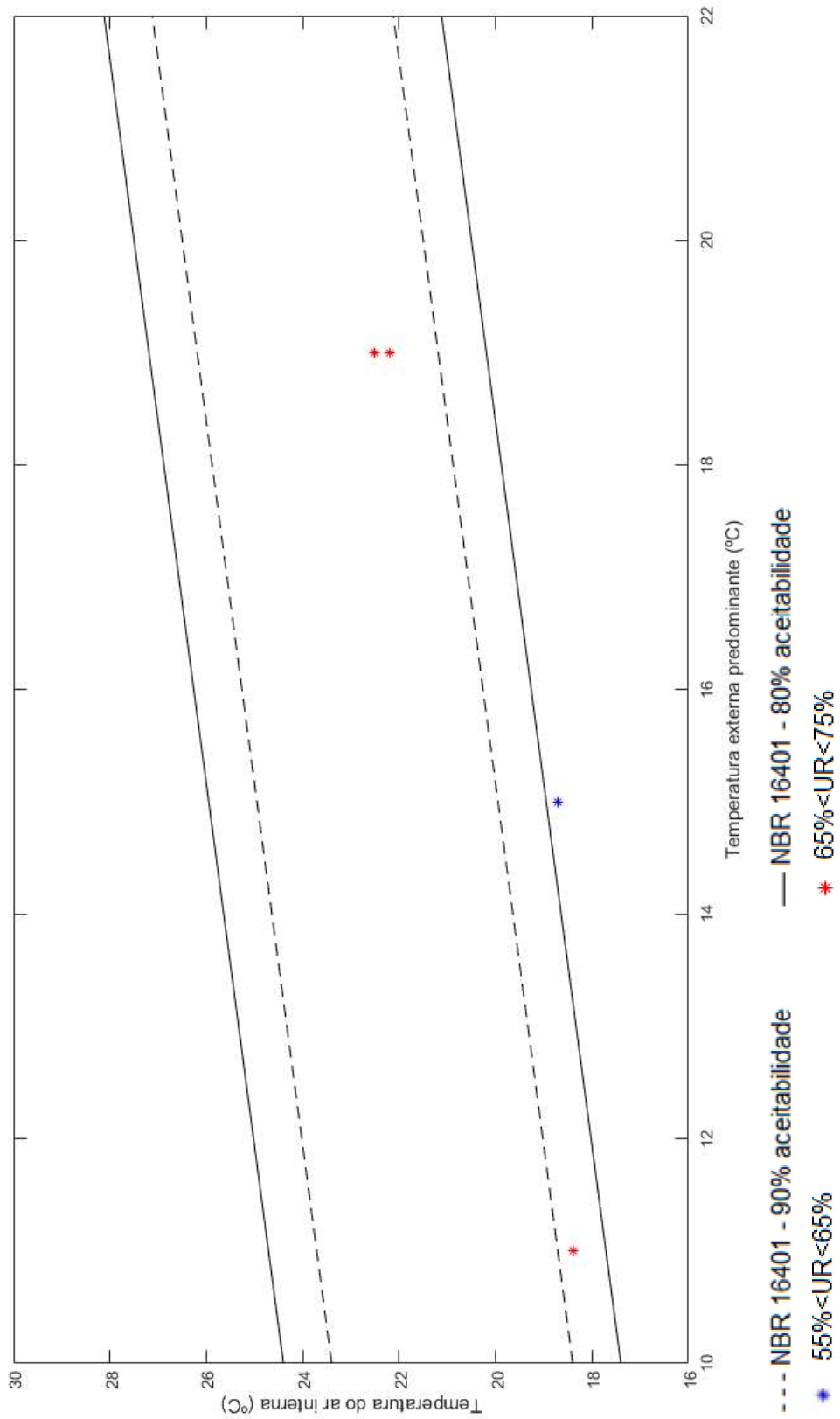


Fonte: da autora

A Figura 31 mostra os votos de não aceitabilidade ao ambiente térmico classificados por intervalos de umidade relativa interna. Nota-se que o voto de não aceitabilidade em azul está fora dos limites de aceitabilidade da norma e apresenta valores de umidade relativamente baixos entre $55\% < UR < 65\%$, e os votos em vermelho, tanto para temperaturas interna de aproximadamente 18°C ou 22°C , com intervalos de umidades entre $65\% < UR < 75\%$.

A umidade relativa do ar tem relação com a temperatura do ar. Nota-se que, com visto anteriormente, a temperatura do ar tem grande influência nos votos de sensação térmica, conseqüentemente a umidade relativa do ar também interferirá na sensação térmica dos ocupantes. Visto que este parâmetro é o principal índice de conforto térmico pelo método adaptativo conforme as normas ASHRAE Standard 55 (2013) e EN 15251 (2007) (PIRES, 2015).

Figura 31 – Votos de não aceitabilidade ao ambiente térmico classificados por intervalo de umidade relativa interna no período quente e frio da pesquisa.

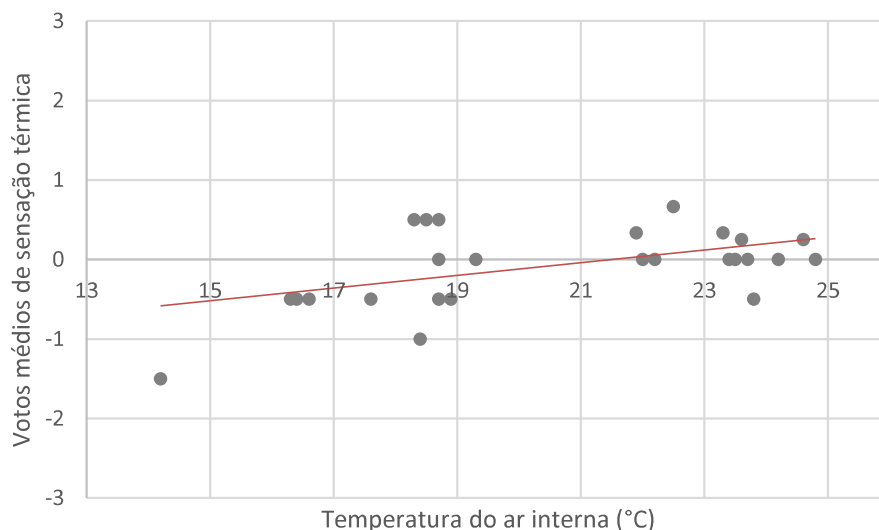


Fonte: da autora

4.3.3 Temperatura neutra

A temperatura de neutralidade térmica é definida como a média entre as temperaturas do ar sob as quais a maioria das pessoas não sente nem calor nem frio. Ou seja, relaciona-se a um valor exato de temperatura interna, correspondente aos votos médios de sensação térmica equivalente a neutro e que a neutralidade é obtida igualando a equação linear a zero ($y=0$) (DE DEAR et al 1997 e PIRES, 2015). A regressão linear foi realizada utilizando os votos médios de sensação térmica e as temperaturas do ar interna registradas mostrada na Figura 32. Para definir a temperatura neutra foi igualado a equação encontrada a zero, ou seja, VST (Votos médios de sensação térmica) igual a zero, mostrada na Tabela 8.

Figura 32 – Distribuição dos votos médios de sensação térmica em relação a temperatura do ar interna com a linha de temperatura neutra.



Fonte: da autora

Tabela 8 – Temperatura neutra em relação a temperatura do ar interna.

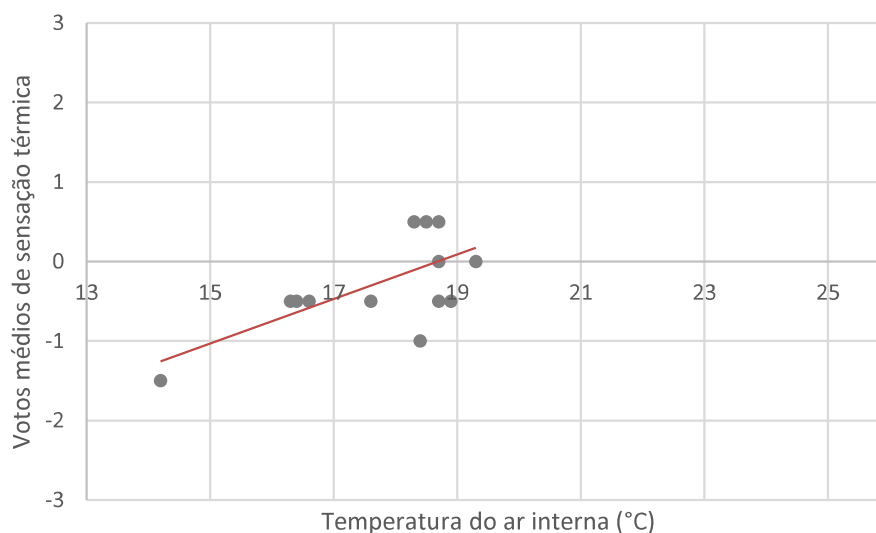
| | |
|--------------------------------|------------------------------|
| Temperatura neutra | 21,55 °C |
| Equação da temp. neutra | $VST = 0,0797 * Tar - 1,714$ |

Fonte: da autora

Os períodos quente e frio da pesquisa apresentam um características climáticas específicas, relacionando a temperatura externa e a interna. Visto isso viu-se necessário determinar a temperatura neutra para cada período.

A Figura 33 está a regressão linear com a distribuição dos votos médios de sensação térmica em relação a temperatura do ar interna no período de frio e na Tabela 9 mostra-se a temperatura neutra em relação a temperatura do ar interna.

Figura 33 – Distribuição dos votos médios de sensação térmica em relação a temperatura do ar interna com a linha de temperatura neutra no período de frio.



Fonte: da autora

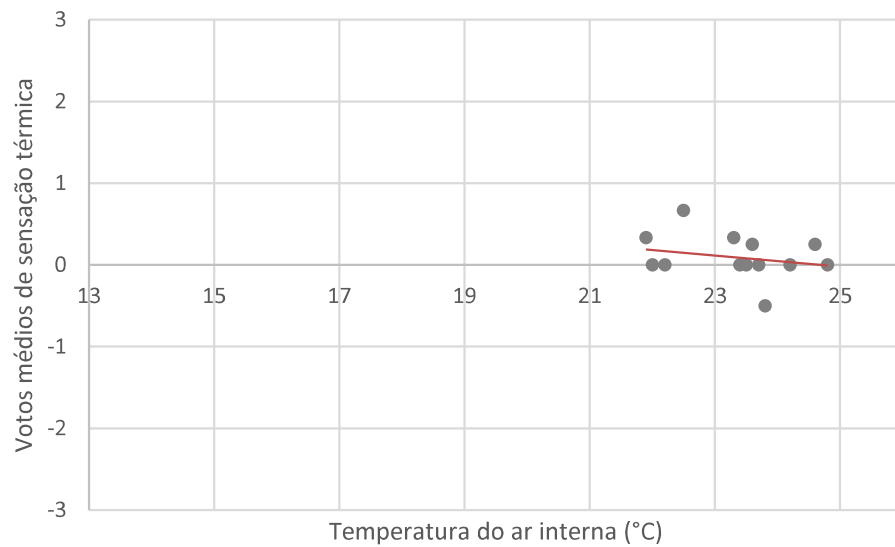
Tabela 9 – Temperatura neutra em relação a temperatura do ar interna no período de frio.

| | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Temperatura neutra | 18,68 °C |
| Equação da temp. neutra | VST= 0,2803* T_{ar} – 5,238 |

Fonte: da autora

A Figura 34 mostra a regressão linear com a distribuição dos votos médios de sensação térmica em relação a temperatura interna do ar no período quente. Na Tabela 10 está apresentado a equação da temperatura neutra, e igualando a equação a zero, encontrou-se a temperatura neutra.

Figura 34 – Distribuição dos votos médios de sensação térmica em relação a temperatura do ar interna com a linha de temperatura neutra no período quente.



Fonte: da autora

Tabela 10 – Temperatura neutra em relação a temperatura do ar interna no período quente.

| | |
|--------------------------------|---------------------------|
| Temperatura neutra | 24,69 °C |
| Equação da temp. neutra | VST= -0,0669*Tar + 1,6518 |

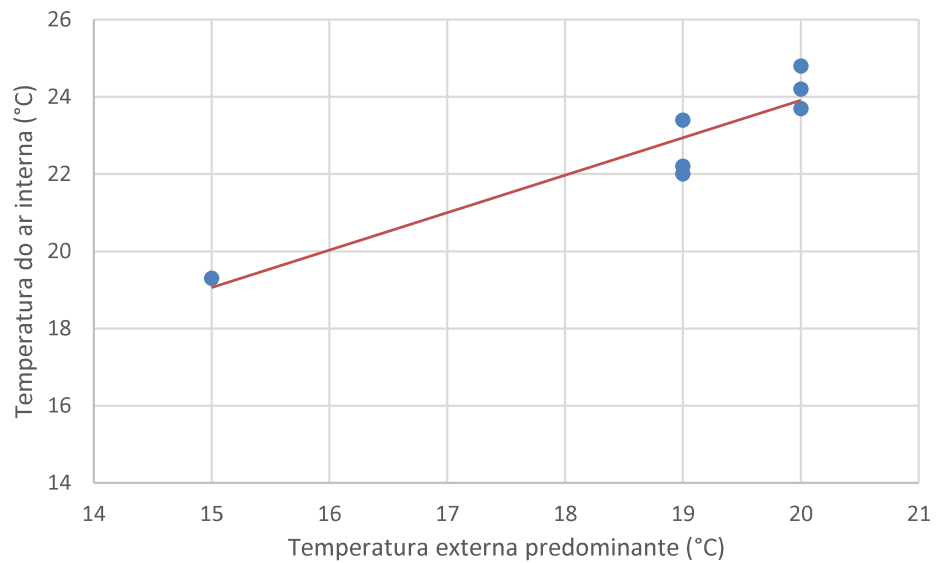
Fonte: da autora

Observa-se que a regressão linear não representa o melhor ajuste entre pontos medidos e curva teórica para este tipo de análise que envolve inúmeras variáveis, como diferentes personalidades e cultura dos pesquisados. É possível concluir que a quantidade de dados teve uma maior influência neste modelo de análise.

4.3.4 Temperatura externa

Outra variável de grande importância para a análise do conforto térmico é a temperatura externa, pois essa tem grande influência na temperatura de interna de conforto. A fim de encontrar a temperatura interna de conforto, foram realizadas duas regressões lineares entre os votos de sensação térmica e a temperatura exterior predominante. Na Figura 35 mostra a regressão linear entre a temperatura interna de conforto (temperatura interna média) e a temperatura externa predominante a partir dos votos de sensação térmica médios resultantes em neutro.

Figura 35 – Linha de regressão linear dos votos médios neutros em função da temperatura externa predominante e a temperatura do ar interna.



Fonte: da autora

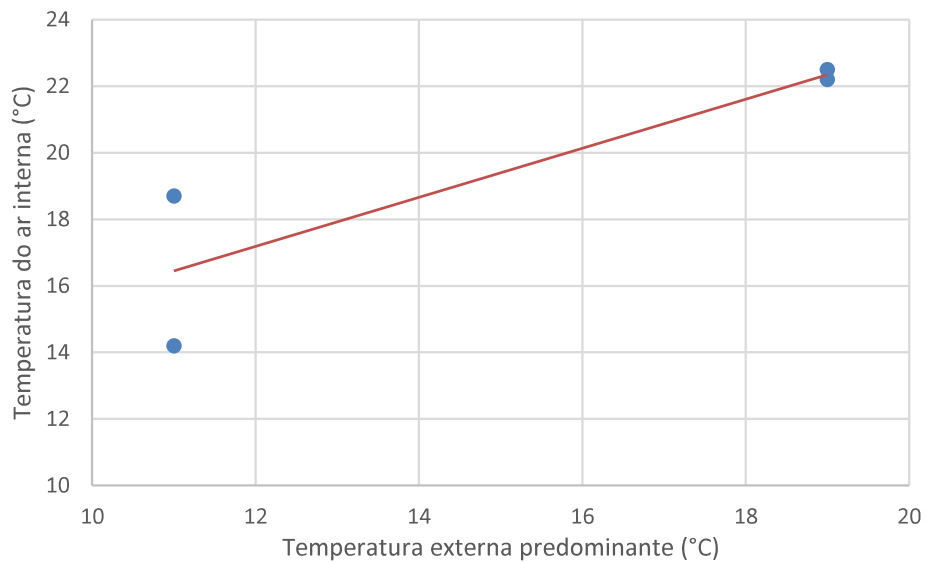
Esta relação demonstrou um coeficiente de determinação $R^2= 0,8714$ e a Equação 14 mostra a equação de conforto em relação a temperatura externa (T_e).

$$T.conf = 0,9705.T_e + 4,5 \quad (14)$$

A Figura 36 mostra mesma regressão linear a partir dos votos de sensação térmica médios resultantes entre “levemente com frio” e “levemente com calor”. Esta relação apresentou um coeficiente de determinação $R^2= 0,7739$ e uma equação de conforto indicada na equação 15.

$$T.conf = 0,7375.T_e + 8,3375 \quad (15)$$

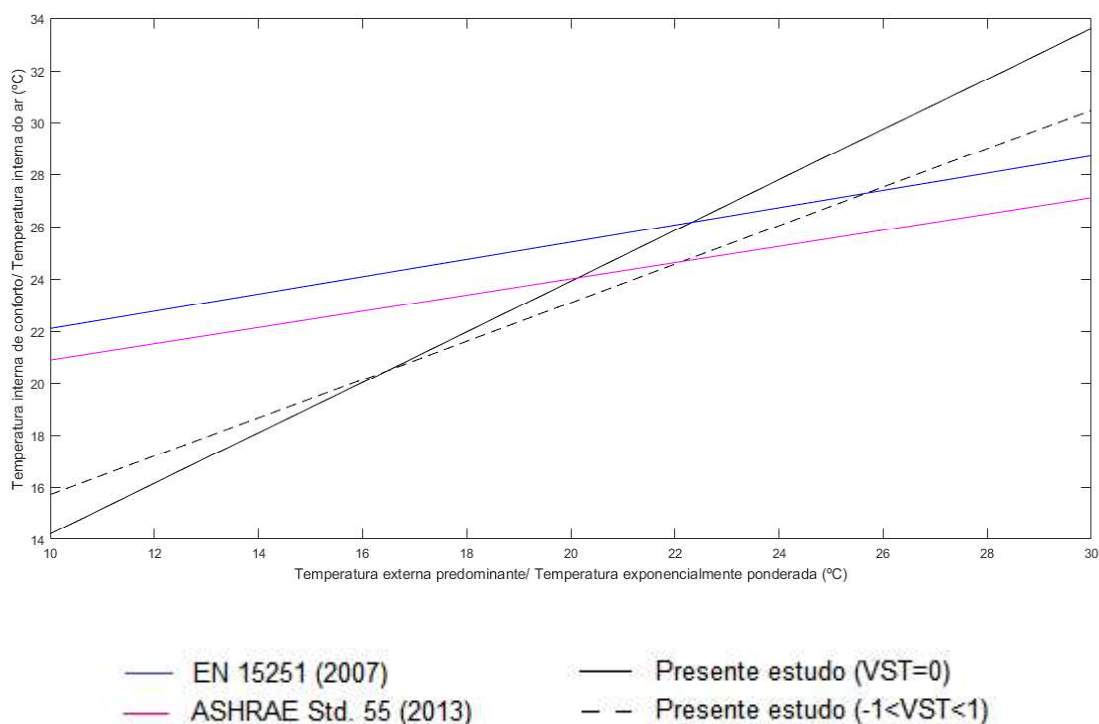
Figura 36 – Linha de regressão linear dos votos médios “levemente com frio” e “levemente com calor” em função da temperatura externa predominante e a temperatura do ar interna.



Fonte: da autora

A Figura 37 apresenta as linhas de temperatura de conforto em função da temperatura exterior predominante e a temperatura interna do ar. A Figura 37 apresenta as linhas de conforto a partir das duas abordagens: relações estabelecidas a partir dos votos de sensação térmica neutros e a partir dos votos entre “levemente com frio” e “levemente com calor”. A Figura 36 também mostra as linhas de temperatura de conforto, das Equações 4 e 7 do referencial teórico das normas ASHRAE Standard 55 (2013) e a EN 15251 (2007).

Figura 37 – Linhas de temperatura de conforto em função da temperatura do ar interna e temperatura exterior predominante para o presente estudo e pelas normas ASHRAE e EN 15251.



Fonte: da autora

Nota-se os votos deste trabalho originaram linhas de conforto térmico mais íngremes, diferenciando das equações de conforto térmico das normas já apresentadas. Isto deve-se a grande amplitude térmica sazonal da cidade de Araranguá como também cidades vizinhas do estado de Santa Catarina, apresentando verões quentes e invernos frios, fazendo com que os indivíduos apresentem uma maior adaptabilidade ao ambiente térmico. Nesta pesquisa os indivíduos estavam em conforto (sensação térmica neutra) em uma faixa de temperatura entre 19,3°C a 24,8°C, e para o intervalo entre “levemente com frio” e “levemente com calor”, a faixa correspondente ficou entre 14,2°C a 22,5°C. Enquanto para a norma americana ASHRAE Standard 55 (2013), as mesmas condições indicariam um intervalo de temperatura de conforto entre 22,7°C e 26°C.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar a comportamento do modelo adaptativo de conforto térmico da planta piloto bioclimática localizada no Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina em Araranguá-SC. Foram realizadas análises da percepção do ambiente térmico aplicando o questionário desenvolvido pelo LabEEE que resultaram um total de 77 votos relacionados a variáveis ambientais e humanas no período quente e frio.

O ambiente térmico interno da edificação estudada foi avaliado como aceitável pela grande maioria dos usuários, tendo 95% de aceitabilidade e 5% não aceitabilidade. É importante observar que 61% dos votos dos entrevistados que consideraram o ambiente térmico aceitável estavam fora dos limites das normas, sendo esses no período frio. A análise dos níveis de isolamento da vestimenta mostrou que estas pessoas apresentavam valores superiores a aplicabilidade do modelo na NBR 16401-2 (2017) de 1 clo, pois 50% das pessoas no período frio apresentaram índices entre 0,95 clo à 1,15 clo. No período de calor 4% dos pesquisados consideraram o ambiente térmico inaceitável sendo que 40% dos usuários neste período apresentaram índices de isolamento entre 0,8 clo à 0,95 clo.

Sobre a sensação e preferência térmica 47% das pessoas avaliaram o ambiente térmico neutro e gostaria de manter as condições térmicas presenciadas durante os estudos de campo. Observou-se grande influência da temperatura do ar interna e externa, como também da umidade relativa do ar. Na análise de isolamento da vestimenta notou-se uma influência nos votos de sensação térmica, pois foi observado altos níveis de vestimenta em votos de “com frio” e “com calor”.

Na análise da temperatura neutra a partir das temperaturas do ar interna verificou-se que existe relação com as temperaturas externas por se tratar de um ambiente naturalmente ventilado. Analisando a regressão linear observou-se a dificuldade no ajuste da melhor reta, por se tratar de uma edificação com indivíduos com culturas diferentes, causando votos de sensação térmica distintos, e pela pouca quantidade de votos obtidas. Sendo assim, percebe-se a grande dificuldade na análise de conforto térmico pelo método adaptativo na Planta Piloto Bioclimática, sendo mais indicado um estudo mais complexo na análise do clima e cultura de cada usuário da edificação.

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As principais limitações encontradas neste trabalho foi a pequena quantidade de votos por conta dos poucos dias de aplicação do questionário. Isto influenciou na análise dos votos, tendo maior influência na temperatura neutra devido a regressão linear. Outra limitação foi nos períodos considerados quente e frio, pois as aplicações dos questionários foram iniciadas no mês de maio, onde já se encontrava em um período “quase frio”. E como no ano de 2019 não foram registradas temperaturas tão baixas como nos anos anteriores, não foi possível a realização do experimento no período com temperaturas mais baixas. Isto é, não teve grande variação de temperaturas entre os períodos considerados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, C. B. J.; PIRES, N. J. M. Implicações do conforto térmico no Consumo Energético – Uma hipótese de Modelo Adaptativo aplicada ao Verão. Universidade Nova de Lisboa. Janeiro 2012.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ASHRAE Standard 55-1992**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, GA: ASHRAE, 1992.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Thermal comfort. In: **ASHRAE Handbook**: Fundamentals. Atlanta, GA: ASHRAE, 2001. p. 8.1-8.29.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Std. 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2013.
- ASMUS, F. B.; GHISI, E.; RUPP, F.R. Conforto térmico em Edificações comerciais localizadas em Florianópolis. Agosto 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 3º Projeto Revisão ABNT NBR 16401. Nov 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2003.
- BILÉSIMO, T. L. **Análise do impacto de estratégias bioclimáticas no desempenho energético de uma Planta Piloto**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Energia e Sustentabilidade, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2019.
- CÂNDIDO, C. et al. Air Movement Acceptability Limits and Thermal Comfort in Brazil's Hot Humid Climate Zone. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 222–229, 2010.
- DE DEAR, R.; BRAGER, G. S. (2001). The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 45, n. 2, p. 100-108, 2001.
- DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. ASHRAE RP - 884. Berkeley, Sydney, 1997.
- ENGINEERING TOOLBOX. **Temperatura do Globo**. 2011. Disponível em: https://www.engineeringtoolbox.com/resultant-globe-temperature-d_1806.html. Acesso em: julho 2019.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 15251**: indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustic. Bruxelas, 2007.

FANGER, P. O. **Thermal comfort**: analysis and applications in environmental engineering. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/DIS 7726**: Ergonomics of the thermal environment: Instruments for measuring physical quantities. Geneva, 1996.

LAMBERTS, R. Conforto e stress térmico. Laboratório de Eficiência Energética e Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Departamento de engenharia civil. Junho 2016.

LOUIS HARRIS & ASSOCIATES, INC. **The Steelcase National Study of Office Environments, No. II**: comfort and productivity in the office of the 80's. Grand Rapids, MI: Steelcase, 1980.

MENDONÇA, F.; OLIVEIRA, I. M. D. **Climatologia**: Noções básicas e climas do Brasil. São Paulo. Oficina de Textos, 2007.

OLESEN, W.B. **The philosophy behind EN15251**: indoor environmental criteria for design and calculation of energy performance of buildings, *Energy and Buildings* 39, n.7, p. 740 – 749, 2007.

PARSONS K C. **Human Thermal Environments**. Taylor & Francis, p 174. 1993.

PIRES, O. M.; WESTPHAL, F. Conforto térmico em ambientes de escritórios naturalmente ventilados: pesquisa de campo na cidade de Florianópolis por meio da abordagem adaptativa. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

R. F. RUPP, R. VECCHI, B. F. ASMUS, C. CANDIDO, E. CHISI. Conforto térmico humano em escritórios com sistema central de condicionamento artificial em clima subtropical úmido: estudos de campo vs. Abordagem analítica. **Ambient. constr.**, v. 17, n. 1, p. 111-123, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212017000100111&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: Junho 2019.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima**: acondicionamento Térmico Natural. 2. ed. rev. ampl. Porto Alegre: D.C. Luzzatto Editores: Ed. da Universidade, UFRGS, 1986.

RUAS, C. **Avaliação de conforto térmico**: contribuições à aplicação prática das normas internacionais. Faculdade de engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1999.

SILVA ALMEIDA, S.H. Análise do conforto térmico de edifícios utilizando as abordagens analítica e adaptativa. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

WU, Z.; LI, N.; WARGOCKI, P.; PENG, J.; LI, J.; CUI, H. Adaptive Thermal comfort in naturally ventilated dormitory building in Changsha, China. *Energy & Buildings*. 2019.

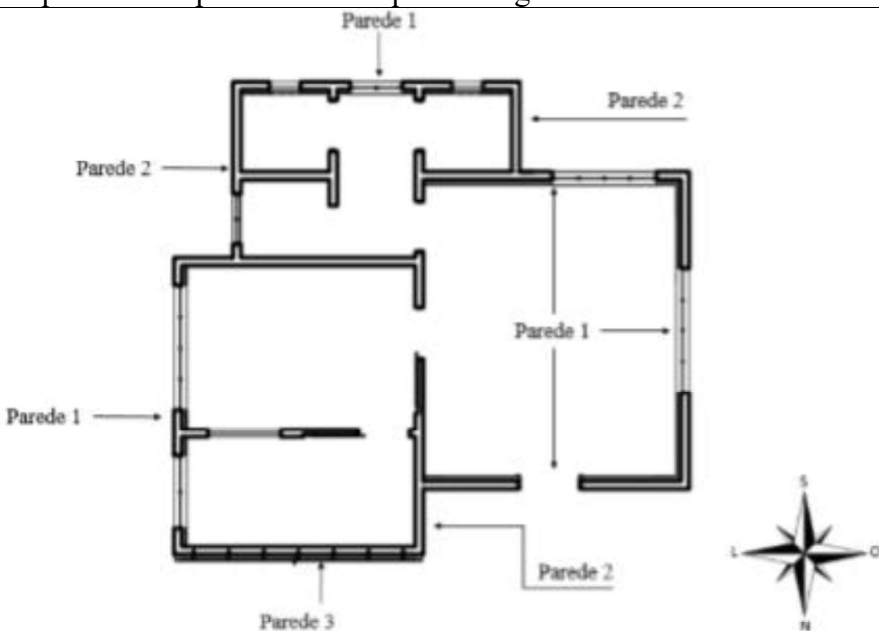
YANG, D; XIONG, J; LIU, W. Adjustments of the adaptive thermal comfort model based on the running mean outdoor temperature for Chinese people: A case study in Changsha China. 2016.

ANEXO A – Questionário de avaliação

1ª ETAPA

| | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------|--------------------------|-----------|--------|-------|---------|
| Data: | Hora: | | | | | | |
| 1. Dados pessoais: | | | | | | | |
| Sexo: | <input type="checkbox"/> | Feminino | <input type="checkbox"/> | Masculino | Idade: | Peso: | Altura: |
| 2. Qual tipo de atividade você exerce neste ambiente, por quanto tempo diário? | | | | | | | |

| | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 3. Qual roupa está usando agora? Utilize a relação abaixo, assinalando cada item de roupa que compõe sua vestimenta: | | | | | |
| Camisa de manga curta | <input type="checkbox"/> | Vestido longo | <input type="checkbox"/> | Meia calça | <input type="checkbox"/> |
| Camisa de manga longa | <input type="checkbox"/> | Vestido curto | <input type="checkbox"/> | Meias esportivas | <input type="checkbox"/> |
| Blusa moleton | <input type="checkbox"/> | Bermuda | <input type="checkbox"/> | Meia de lã | <input type="checkbox"/> |
| Jaqueta/ suéter fino | <input type="checkbox"/> | Calça moleton | <input type="checkbox"/> | Botas | <input type="checkbox"/> |
| Jaqueta/suéter grosso | <input type="checkbox"/> | Calça jeans | <input type="checkbox"/> | Tênis/Sapato | <input type="checkbox"/> |
| Saia | <input type="checkbox"/> | Calça social | <input type="checkbox"/> | Sapatilhas/ sapato aberto | <input type="checkbox"/> |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 4. Indique o local aproximado no qual você geralmente trabalha: | |
|  <p>O diagrama mostra a planta baixa de um ambiente com várias divisões. As paredes são rotuladas como Parede 1, Parede 2 e Parede 3. Há uma bússola no canto inferior direito indicando as direções Norte (N), Sul (S), Leste (L) e Oeste (O).</p> | |

| | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------|
| 5. Você utiliza algum tipo de controle ou ajuste do conforto térmico deste ambiente no seu dia a dia? | | |
| Sim | | Não |
| Se sim qual? | | |
| Ventilador | Ar condicionado | Janela |

| | | | | | | | |
|-----|--|--|--|--|--|--|--|
| Sim | | | | | | | |
| Não | | | | | | | |

| 11. Como você se sente com relação ao movimento do ar neste momento? | | Voto 1 | Voto 2 | Voto 3 | Voto 4 | Voto 5 | Voto 6 | Voto 7 |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Insatisfatório | Pouco movimento de ar | | | | | | | |
| | Muito movimento de ar | | | | | | | |
| Satisfatório | Pouco movimento de ar | | | | | | | |
| | Movimento do ar suficiente | | | | | | | |
| | Muito movimento do ar | | | | | | | |

| 12. Considerando sua resposta anterior, qual a sua preferência com relação ao movimento do ar neste momento? | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Voto 1 | Voto 2 | Voto 3 | Voto 4 | Voto 5 | Voto 6 | Voto 7 |
| Maior movimento de ar | | | | | | | |
| Não mudar | | | | | | | |
| Menor movimento do ar | | | | | | | |

| 13. Possíveis alterações de atividade/vestimenta: | | | | | | | |
|---------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Voto 1 | Voto 2 | Voto 3 | Voto 4 | Voto 5 | Voto 6 | Voto 7 |
| Alteração na vestimenta | | | | | | | |
| Qual alteração? | | | | | | | |
| Ingeriu bebidas (quente ou fria?) | | | | | | | |