

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LARISSA MARA COSTA MORAIS

**MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS À CALIBRAÇÃO DE ÍNDICES DE
CONFORTO TÉRMICO PARA AMBIENTES URBANOS**

BELO HORIZONTE
2021

LARISSA MARA COSTA MORAIS

**MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS À CALIBRAÇÃO DE ÍNDICES DE
CONFORTO TÉRMICO PARA AMBIENTES URBANOS**

**Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil do CEFET-MG
como requisito parcial para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil.**

Orientadora: Profa. Dra. Simone Queiroz da Silveira Hirashima

Coorientador: Prof. Dr. Aloísio Joaquim Freitas Ribeiro

BELO HORIZONTE

2021

M827m Moraes, Larissa Mara Costa
Métodos estatísticos aplicados à calibração de índices de conforto térmico para ambientes urbanos / Larissa Mara Costa Moraes. – 2021. 94 f. : il., gráfs, tabs., fotos.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Civil.
Orientadora: Simone Queiroz da Silveira Hirashima.
Coorientador: Aloísio Joaquim Freitas Ribeiro.
Bibliografia: f. 91-94.
Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil

1. Instrumentos de medição – Calibração – Teses. 2. Conforto térmico – Teses. 3. Solo urbano – Uso – Estatística – Teses. I. Hirashima, Simone Queiroz da Silveira. II. Ribeiro, Aloísio Joaquim Freitas. III. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD 624.171

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, fonte de luz, inspiração amor e fé.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (PPGEC-CEFET/MG), pela oportunidade de realização deste curso.

À minha orientadora, professora Dra. Simone Queiroz da Silveira Hirashima, e ao meu coorientador, professor Dr. Aloísio Joaquim Freitas Ribeiro, pelos ensinamentos, disponibilidade, pelos exemplos de ética e dedicação à profissão. Por confiarem na minha capacidade e, principalmente, pela paciência em todos os momentos.

Aos professores Dra. Simone Queiroz da Silveira Hirashima, Me. Thiago José Vieira Silva, PhD. Eleonora Sad de Assis e Dra. Daniele Gomes Ferreira por autorizarem a utilização de seus dados para análises estatísticas, foco deste trabalho. Muito obrigada!

À professora PhD. Eleonora Sad de Assis, pelos esclarecimentos sobre o fator de visão do céu (FVC) e à professora Dra. Grace Cristina Roel Gutierrez pelos empréstimos de equipamentos do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética nas Edificações – LABCON, da Escola de Arquitetura da UFMG.

Aos professores que participaram da banca examinadora por terem aceitado o convite e por suas contribuições pertinentes, que seguramente enriqueceram o trabalho.

Ao meu marido, Naider, companheiro de todas as horas, pela sua compreensão, respeito, tolerância e apoio.

Aos meus familiares pelo incentivo.

RESUMO

A calibração de índices de conforto térmico para ambientes urbanos é feita por meio da utilização de métodos estatísticos, os quais correlacionam o valor numérico do índice com a resposta sobre percepção de sensação térmica das pessoas, visando determinar as faixas de conforto térmico e de desconforto térmico para o calor e para o frio. Estudos que visam calibrar os índices *Physiological Equivalent Temperature* (PET) e *Universal Thermal Climate Index* (UTCI) são crescentes em muitos países. Porém, não existe atualmente um método estatístico padrão para a calibração. O presente estudo busca aplicar e comparar os principais métodos de calibração em uma mesma base de dados, visando obter a faixa neutra de sensação térmica. Calibrações foram conduzidas por meio do uso dos três modelos estatísticos mais citados nos estudos precedentes e de três escalas diferentes de percepção térmica (3, 5 e 7 pontos) para uma amostra de 3.630 dados, provenientes de estudos anteriores no município de Belo Horizonte. Foi realizada uma comparação dos resultados obtidos pelo critério AIC (Akaike Information Criterion) e predições corretas. Como resultado, os modelos linear, probito e logito foram os mais utilizados. O modelo linear não foi aplicado neste estudo visto que a natureza da relação entre a escala de sensação térmica e cada uma das variáveis preditoras foi não linear. Assim, optou-se por ajustar um modelo não linear logístico de 4 parâmetros, com ajuste dos escores de sensação térmica entre -0,5 e +0,5. Com este modelo foi obtido apenas o limite superior da faixa de sensação térmica neutra. Os modelos ordinais (logito e probito) foram calibrados por dois métodos de ajuste: método 1 de probabilidades pontuais e método 2 de probabilidades cumulativas. Os modelos logito e probito apresentaram limites da faixa de conforto térmico e valores de AIC similares. A calibração com escalas de sensação térmica diferentes resultou em faixas de conforto térmico com maiores amplitudes para os modelos de 7 pontos e menores amplitudes para os modelos de 3 pontos. Em relação aos dois métodos de ajuste dos modelos ordinais, o método 2 produziu resultados com menor amplitude e o método 1 apresentou maior proporção de classificações corretas. Embora o método 1 tenha se mostrado superior quanto a este critério, o método 2 tem o benefício de produzir faixas de sensação térmica neutra comparáveis, uma vez que não depende do número de categorias de sensação térmica. Assim, tanto o método 1 quanto o método 2 dos modelos ordinais são úteis para o desenvolvimento de soluções sobre conforto térmico de uma determinada área urbana.

Palavras-chave: PET; UTCI; Calibração; Métodos Estatísticos.

ABSTRACT

The calibration of thermal comfort indices for urban environments is done through the use of statistical methods, which correlate the numerical value of the index with the response on people's perception of thermal sensation, in order to determine the thermal comfort and thermal discomfort ranges for heat and for cold. Studies that aim to calibrate the Physiological Equivalent Temperature (PET) and Universal Thermal Climate Index (UTCI) are increasing in many countries. However, there is currently no standard statistical method for calibration. The present study seeks to apply and compare the main calibration methods in the same database, aiming to obtain the neutral range of thermal sensation. Calibrations were carried out using the three statistical models most cited in the preceding studies and three different scales of thermal perception (3, 5 and 7 points) for a sample of 3,630 data from previous studies in the city of Belo Horizonte. A comparison of the results obtained by the AIC (Akaike Information Criterion) and correct predictions was performed. As a result, the linear, probit and logit models were the most used. The linear model was not applied in this study since the nature of the relationship between the thermal sensation scale and each of the predictor variables was non-linear. Thus, it was decided to adjust a 4-parameter nonlinear logistic model, with adjustment of the thermal sensation scores between -0.5 and +0.5. With this model, only the upper limit of the neutral thermal sensation range was obtained. The ordinal models (logit and probit) were calibrated by two adjustment methods: method 1 for point probabilities and method 2 for cumulative probabilities. The logit and probit models presented similar thermal comfort range limits and AIC values. Calibration with different thermal sensation scales resulted in thermal comfort ranges with greater amplitudes for the 7-point models and smaller amplitudes for the 3-point models. In relation to the two methods of adjustment of the ordinal models, method 2 produced results with smaller amplitude and method 1 presented a higher proportion of correct classifications. Although method 1 has been shown to be superior on this criterion, method 2 has the benefit of producing comparable neutral heat sensation ranges as it does not depend on the number of heat sensation categories. Thus, both method 1 and method 2 of the ordinal models are useful for the development of solutions for thermal comfort in a given urban area.

Key- words: PET; UTCI; Calibration; Statistical Methods.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dados de entrada no software Rayman para o índice PET e Bioklima para o índice UTCI.	23
Figura 2 - Parâmetros para calibração dos índices de conforto térmico em espaços abertos.	30
Figura 3 - Distribuição das calibrações no cenário internacional por local.	38
Figura 4 - Distribuição das calibrações no cenário nacional por local.	38
Figura 5 - Distribuição dos climas calibrados no cenário nacional por local.	39
Figura 6 - Distribuição dos índices PET e UTCI por cenário.	39
Figura 7 - Quantificação de métodos estatísticos aplicados à calibração dos índices PET e UTCI conforme levantamento bibliográfico.	40
Figura 8 - Distribuição de métodos estatísticos por cenário.	41
Figura 9 - Etapas da metodologia.	42
Figura 10 - Distribuição das entrevistas por ano, ponto de medição, praça e estação do ano.	45
Figura 11 - Imagem satélite referente à localização dos pontos de medição.	50
Figura 12 - Imagens olho de peixe dos pontos medidos.	51
Figura 13 - Distribuição por sexo biológico, idade, peso, altura e taxa metabólica.	62
Figura 14 - Distribuição por vestimenta.	63
Figura 15 - Histograma das variáveis ambientais da amostra.	64
Figura 16 - Histograma das variáveis: PET e UTCI.	67
Figura 17 - Gráfico de dispersão entre PET e UTCI.	68
Figura 18 - Distribuição percentual dos votos de sensação térmica.	69
Figura 19 - Box-plots dos índices PET e UTCI referente aos Votos de Sensação Térmica “Com muito calor” (categoria +3), ...	70
Figura 20 - Box-plots das variáveis UTCI, PET, Temperatura do Ar, Temperatura Radiante Média, Velocidade do Vento, Umidade Relativa do Ar e Vestimenta.	72
Figura 21 - Diagrama de dispersão dos valores médios dos escores de sensação térmica versus valores médios do índice térmico UTCI (a), PET (b) e temperatura do ar (c) e curvas logísticas estimadas.	74
Figura 22 - Probabilidades cumulativas de sensação térmica (Y) estimadas pelo modelo logístico	77

Figura 23 - Probabilidades cumulativas de sensação térmica (Y) estimadas pelo modelo probito.....	78
Figura 24 - Probabilidades cumulativas de sensação térmica (Y) estimadas pelo modelo logístico	78
Figura 25 - Probabilidades cumulativas de sensação térmica (Y) estimadas pelo modelo probito.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Unidade de medida das variáveis microclimáticas.	23
Quadro 2 - Fórmulas utilizadas para cálculo da Velocidade do Vento a 10m e da Temperatura Radiante Média.	24
Quadro 3 - Resistência Térmica do Vestuário (Icl) expresso em “clo”.....	26
Quadro 4 - Intervalos dos índices térmicos UTCI e PET para diferentes percepções térmicas.....	29
Quadro 5 - Escala de percepção térmica de sete pontos.....	30
Quadro 6 - Escala de percepção térmica de nove pontos.....	31
Quadro 7 - Levantamento bibliográfico sobre os métodos, número de dados da amostra, locais e suas características, classificação climática de Köppen-Geiger, índices e faixas calibradas.	34
Quadro 8 - Total de entrevistados por estação e por ponto de medição.	44
Quadro 9 - Total de entrevistados por estação e por ponto de medição.	45
Quadro 10 - Descrição das variáveis da amostra.....	46
Quadro 11 – Dados de entrada para cálculo do índice PET.	48
Quadro 12 – Dados de entrada para cálculo do índice UTCI.	48
Quadro 13 - Descrição (Nome e Localização) das áreas de estudo.	49
Quadro 14 - Estatística descritiva da variável quantitativa individual.	63
Quadro 15 - Estatística descritiva das variáveis ambientais da amostra.....	64
Quadro 16 - Valores médios das variáveis ambientais em cada dia de medição e por estação do ano. Os valores entre parênteses são os valores mínimos e máximos. .	66
Quadro 17 - Estatística descritiva dos índices de conforto térmico – PET e UTCI....	67
Quadro 18 - Matriz de Correlações entre os índices PET e UTCI e as variáveis quantitativas que integram o cálculo dos índices.	68
Quadro 19 - Estatística descritiva das variáveis quantitativas.....	71
Quadro 20 - Estimativas dos parâmetros e erros padrão de cada modelo ajustado.	75
Quadro 21 - Valor neutral e limite superior do índice PET, índice UTCI e Temperatura do Ar para a faixa de sensação térmica neutra, utilizando ajustes logísticos de 4 parâmetros para as categorias individuais de sensação térmica.	75
Quadro 22 - AIC e Porcentagem de classificações corretas (C.C).....	76
Quadro 23 - Teste de Hipóteses para as variáveis UTCI, PET e Ta.	76
Quadro 24 - Faixas de sensação térmica neutra obtidas pelos métodos 1 e 2.	79

Quadro 25 – Proporções de classificações corretas pelos métodos 1 e 2.	80
Quadro 26 – Modelo logito ajustado para sensação térmica, valores de AIC e Porcentagem de Predições Corretas, segundo a variável preditora utilizada.	81
Quadro 27 - Modelo probito ajustado para sensação térmica, valores de AIC e Porcentagem de Predições Corretas, segundo a variável preditora utilizada.	82
Quadro 28 - Limites superior (LS) e inferior (LI) das faixas de conforto térmico estimadas para os índices UTCI e PET, e a Temperatura do Ar (Ta), obtidas das calibrações pelos modelos Logito e Probit para o 7, 5 e 3 categorias de sensação térmica.	83
Quadro 29 - Amplitudes das faixas de conforto térmico estimadas das variáveis UTCI, PET e Temperatura do Ar, obtidas das calibrações por modelos logito e probito para ajuste de 7, 5 e 3 categorias de sensação térmica.	85
Quadro 30 - Faixas de conforto térmico obtidas das calibrações de Belo Horizonte por modelos Logito, calibrados para 3 e 7 categorias de sensação térmica e índices PET e UTCI.	85

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.2.1 OBJETIVO GERAL	13
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	14
1.4 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA	17
2. REVISÃO TEÓRICA.....	17
2.1 OS ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO: PET E UTCI	18
2.2 VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DO ÍNDICE PET PELO SOFTWARE RAYMAN E UTCI PELO SOFTWARE BIOKLIMA	22
2.3 CALIBRAÇÃO DOS ÍNDICES	28
2.3.1 VARIÁVEIS PARA CALIBRAÇÃO DOS ÍNDICES	29
2.4 LEVANTAMENTO DE ESTUDOS PRECEDENTES.....	31
2.4.1 ANÁLISE DE ESTUDOS PRECEDENTES.....	35
2.4.2 MÉTODOS ESTATÍSTICOS MAIS UTILIZADOS.....	40
3 MATERIAIS E MÉTODO	41
3.1 ANÁLISE DE ESTUDOS PRECEDENTES.....	42
3.2 DESCRIÇÃO DA BASE DE DADOS E DA ÁREA DE ESTUDO	42
3.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA BASE DE DADOS.....	44
3.2.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	48
3.2.2.1 DESCRIÇÃO DO MUNICÍPIO	48
3.2.2.2 DESCRIÇÃO DAS PRAÇAS E PONTOS DE MEDIÇÃO.....	49
3.3 CALIBRAÇÕES	52
3.3.1 MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA AS CATEGORIAS DE SENSAÇÃO TÉRMICA	53
3.3.2 MODELOS LOGITO E PROBITO PARA AS CATEGORIAS DE SENSÇÃO TÉRMICA.....	55
3.3.2.1 MÉTODO 1	59
3.3.2.2 MÉTODO 2	59
3.3.3 COMPARAÇÃO DOS MODELOS DE CALIBRAÇÃO	60
4 RESULTADOS	61
4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DA BASE DE DADOS	61

4.2	CALIBRAÇÕES.....	73
4.2.1	CALIBRAÇÃO PELO MODELO NÃO LINEAR DE QUATRO PARÂMETROS	73
4.2.2	CALIBRAÇÃO PELOS MODELOS LOGITO E PROBITO.....	76
4.2.3	INFLUÊNCIA DAS DIFERENTES CLASSIFICAÇÕES DA ESCALA DE SENSAÇÃO TÉRMICA PARA CALIBRAÇÃO PELOS MODELOS LOGITO E PROBITO AJUSTADOS PELOS MÉTODOS 1 E 2.....	83
4.2.4	ANÁLISE DAS CALIBRAÇÕES DE BELO HORIZONTE	85
5.	CONCLUSÕES.....	86
	REFERÊNCIAS.....	91

1. INTRODUÇÃO

No panorama de ambientes urbanos sustentáveis, há uma crescente demanda por espaços abertos confortáveis termicamente. A busca pelo conforto térmico em espaços abertos e consequente melhoria nas condições microclimáticas e características locais auxilia no desenvolvimento das cidades, uma vez que, ao controlar as fontes de desconforto, haverá um aumento da presença dos indivíduos ao ar livre, maior segurança e prática de exercícios físicos, reduzindo assim as doenças crônicas. Outros benefícios incluem o aumento do uso de meios de transporte mais ecológicos, como ciclismo e caminhada e, redução do uso de energia dos edifícios circundantes (NIKOLOPOULOU et al., 2011; NIKOLOPOULOU; BAKER; STEEMERS, 2001).

A ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers) define o conforto térmico como a condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico (ASHRAE Standard 55, 1992 apud ASHRAE, 2001). Por sua vez, a ISO 7730 (2005) determina conforto térmico como a manutenção do equilíbrio do corpo humano. Ambas as definições se aplicam ao conforto térmico em espaços abertos.

As condições de conforto térmico dependem da atividade desenvolvida pelo indivíduo, da sua vestimenta e das variáveis do ambiente que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Além disso, devem ser consideradas outras variáveis como sexo, idade, biotipo, hábitos alimentares, entre outros fatores. Os índices de conforto térmico procuram integrar essas variáveis, expressando, assim, a satisfação com o ambiente térmico. Portanto, a partir dos índices, é possível relacionar o clima e outros fatores influentes ao conforto térmico (FROTA; SCHIFFER, 2001).

O conforto térmico pode ser representado por vários índices. Dois índices muito utilizados atualmente, reconhecidos no cenário internacional e adequados para espaços abertos, são: o Índice de Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) e o Índice Climático Térmico Universal (UTCI). Ambos vêm sendo abordados em estudos de conforto térmico para ambientes externos (POTCHTER *et al.*, 2018).

O PET foi apresentado por Höppe e Mayer, em 1987 (HÖPPE, 1999), e o índice UTCI foi proposto pela *International Society of Biometeorology* (ISB), em 2001 (www.utci.org). Ambos se baseiam no balanço térmico do corpo humano e são expressos em graus Celsius (°C).

Para determinação dos valores desses índices geralmente são feitas medições em campo, mas também podem ser utilizados dados simulados, para obtenção dos dados das variáveis microclimáticas (temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do globo e velocidade do vento), e são aplicadas fórmulas para cálculo da temperatura radiante média e da velocidade do vento (no caso do índice UTCI). Além disso, é realizada pesquisa por questionário para obter os dados individuais (idade, peso, altura, sexo, vestimenta, taxa metabólica). Os valores do índice PET são gerados, dentre outros, pelo software RayMan, utilizado em diversos estudos, como os de Spagnolo e De Dear (2003), Canan *et al.* (2019) e, Sharmin *et al.* (2019). Para cálculo do índice UTCI utiliza-se, dentre outros, o software Bioklima, presente em vários estudos, como os de Lai *et al.* (2014), Silva (2019), Xu *et al.* (2019) e Krüger *et al.* (2020). Ambos os softwares citados são de livre acesso.

Monteiro (2008), Hirashima (2010), Pantavou *et al.* (2014), Silva e Alvarez (2015); Hirashima *et al.* (2016; 2018); Silva (2019), Heng e Chow (2019), dentre vários estudos, realizam a calibração desses índices, buscando prever a faixa de conforto térmico e os diversos graus de desconforto devido ao frio ou ao calor para uma população adaptada às condições climáticas locais. A calibração é realizada a partir de métodos estatísticos variados que visam correlacionar os índices com as escalas de julgamento sobre os aspectos subjetivos do conforto térmico. A calibração dos índices térmicos é considerada um critério útil na tomada de decisões em relação à saúde, planejamento de espaços ao ar livre e turismo (HIRASHIMA, 2010; PANTAVOU *et al.*, 2018).

A ISO 10551 (1995) estabelece cinco escalas de julgamento: escalas de percepção térmica, avaliação térmica, preferência térmica, aceitabilidade e tolerância térmica pessoal. No presente trabalho, será calibrada a escala de percepção de sensação térmica (voto de sensação térmica ou percepção térmica), obtida a partir da aplicação de questionário com a seguinte pergunta: “Como você se sente neste exato

momento?”. A resposta é organizada a partir de escala bipolar simétrica de 7 pontos, variando de -3 (Frio) a +3 (Calor) para ambiente considerado temperado (ISO 10551,1995).

Segundo Johansson *et al.* (2014), que revisaram 26 estudos sobre conforto térmico ao ar livre, há dificuldades na comparação dos resultados de diferentes estudos, devido à diversidade de instrumentos e métodos usados para medir variáveis microclimáticas, bem como a diversidade de índices e escalas de julgamento subjetivo usados para definir a faixa de conforto térmico quando correlacionados.

Nesse sentido, para uma mesma amostra, as comparações dos resultados são mais efetivas quando o índice e o modelo estatístico aplicado à variável de resposta “percepção térmica” são similares. Este trabalho parte da premissa de que é possível determinar o método estatístico que produza resultados significativamente mais precisos para um determinado conjunto de dados. A amostra utilizada neste estudo compreende 3.630 dados, contendo um total de 5 praças situadas em Belo Horizonte, região de clima tropical, e 8 pontos medidos nos anos de 2009, 2010, 2013, 2018 e 2019 coletados nos estudos de Hirashima *et al.* (2016, 2018) e Silva (2019).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

A presente pesquisa tem como objetivo principal, aplicar os principais métodos de calibração de índices de conforto térmico a uma base de dados de Belo Horizonte, com vistas a determinar qual método estatístico produz resultados mais precisos, para este conjunto de dados.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo principal, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- I. Realizar um levantamento dos estudos precedentes, nos cenários nacional e internacional, visando elencar os tratamentos estatísticos utilizados nos estudos prévios de calibração dos índices PET e UTCI para espaços urbanos;
- II. Aplicar os três métodos estatísticos mais utilizados, segundo os estudos levantados, na calibração dos índices de conforto térmico PET e UTCI para espaços abertos de Belo Horizonte;
- III. Identificar fatores relevantes que possam auxiliar na escolha do método estatístico para a calibração de índices térmicos para ambientes urbanos;
- IV. Propor diretrizes que possam contribuir para a padronização futura do processo de calibração dos índices, em especial para a tomada de decisão com relação ao método estatístico a ser aplicado na calibração.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

A grande quantidade de pessoas nos centros urbanos e sua rápida urbanização gera modificações no ambiente construído, as quais podem resultar em alterações microclimáticas e em grande desconforto térmico em espaços abertos. Isto pode influenciar negativamente a saúde e a qualidade de vida da população (HIRASHIMA et al., 2018; MONTEIRO; ALUCCI, 2010).

Nesse contexto, o estudo dos fenômenos relacionados ao clima urbano e ao conforto térmico dos habitantes das cidades pode ser um importante recurso de planejamento urbano, uma vez que possibilita mitigar os efeitos globais relacionados às mudanças climáticas e até mesmo propor limites e condições microclimáticas ideais a serem alcançadas em espaços externos, possibilitando um adequado desenvolvimento de atividades econômico-culturais específicas ao ar livre, como exposições, eventos esportivos, espetáculos artísticos e atividades turísticas (KRÜGER et al., 2017).

Pesquisas de conforto térmico ao ar livre utilizam diversos índices e modelos preditivos. Alguns índices térmicos, desenvolvidos especificamente para uso em situações urbanas ao ar livre, são: *Physiological Equivalent Temperature* (PET),

proposto por Höppe e Mayer, em 1987 (HÖPPE, 1999) e o *Universal Thermal Climate Index* (UTCI) (ISB, 2002). Ambos são índices termofisiológicos, determinados em graus Celsius (°C), válidos para todos os climas e estações, amplamente utilizados, e formados por variáveis microclimáticas e individuais (JOHANSSON et al., 2014; LUCCHESI, 2016; CHEUNG; JIM, 2018; PANTAVOU et al., 2018).

A calibração é realizada para definir as faixas dos índices quando o indivíduo se sente confortável, denominada “faixa neutra de sensação térmica” ou “faixa de conforto térmico”, e também, quando o indivíduo se sente desconfortável para o frio ou para o calor (LIN, MATZARAKIS, 2008).

Faixas de referência calibradas dos índices PET e UTCI foram propostas inicialmente por Matzarakis; Mayer; Iziomon (1999) e pela ISB (2001, 2003), respectivamente. Essas faixas são comparadas às obtidas em outros estudos, geralmente. Verifica-se que, para cada localidade, há variações na sensação térmica da população local em relação à faixa de referência proposta. Essas variações podem ser causadas pela influência de aspectos emocionais, psicológicos, socioculturais e adaptativos, uma vez que as respostas de percepção térmica são dinâmicas, reais e subjetivas. Deste modo, o estudo de calibração tem validade local (HIRASHIMA, 2010; KRÜGER, ROSSI, CRISTELI; SOUZA, 2018; MONTEIRO, 2008; PANTAVOU et al., 2018).

Krüger, Rossi, Drach (2017) e Hirashima et al. (2018) demonstraram que os processos psicológicos e sócio-culturais desempenham um papel importante na avaliação do conforto térmico, uma vez que houve uma grande variabilidade dos resultados de calibração de faixas de conforto térmico para espaços abertos, quando aplicados em municípios brasileiros e europeus.

A calibração dos índices tem sido estudada com frequência em diversos climas. Hirashima (2010), Johansson et al. (2014), Kantór, Kovács e Takács (2016), Krüger, Rossi e Drach (2017), Krüger et al. (2018), Gobo et al. (2018), e Silva (2019) realizaram a calibração de índices térmicos e relataram a necessidade da padronização do processo de calibração para avaliação do conforto térmico em espaços abertos, devido à falta de harmonização dos estudos no ponto de vista

metodológico, dificultando a sua comparação com estudos futuros e o alargamento do conhecimento científico comum sobre o conforto térmico em espaços abertos.

Salata *et al.* (2016) relataram a existência de diferentes métodos de análise, números de locais medidos e suas características, como praças, ruas e parques; número de medições, épocas do ano, horário da medição, estações do ano, características da população, entre outros.

Além disso, as técnicas estatísticas aplicadas nos processos de calibração mostraram-se bastante diversificadas, dificultando a comparação entre estudos. Kántor, Kovács e Takács (2016) destacaram em seu estudo de calibração, a importância do desenvolvimento de medidas e análises padrão, dado que, a calibração pode ser obtida por diferentes técnicas estatísticas e, os resultados podem ser consideravelmente diferentes.

Como exemplo, Krüger *et al.* (2018) aplicaram três metodologias estatísticas para calibração do índice PET (regressão linear, análise probit e análise do gráfico de frequência) no município de Curitiba, obtendo diferentes faixas de conforto térmico para uma mesma população. Os resultados mostraram que houve semelhança entre os métodos Probit e Regressão Linear quanto à faixa de conforto térmico para Curitiba, e, o método do gráfico de frequência foi pouco preciso.

A técnica da análise probit também foi utilizada nos estudos de calibração de Pantavou *et al.* (2014), Kántor, Kovács e Takács (2016) e Krüger, Rossi, Cristeli e Souza (2018). A regressão linear também foi aplicada em vários estudos como os de Cheng *et al.* (2012), Rossi, Krüger e Bröde (2012), Pantavou *et al.* (2014), Lai *et al.* (2014), Krüger, Rossi e Drach (2017), Gobo *et al.* (2018), Salata *et al.* (2016).

Por outro lado, alguns autores optaram pela utilização da regressão logística ordinal, como Hirashima *et al.* (2016), Hirashima *et al.* (2018), Heng e Chow (2019), Silva (2019), Souza (2010) e Hirashima (2010).

Diante do exposto, os estudos citados demonstraram a ausência de padronização do método estatístico aplicado à calibração de índices térmicos PET e UTCI. Essa

situação leva a uma necessidade de entender e buscar a padronização nesse âmbito. Segundo Kántor *et al.* (2016), a padronização dos métodos estatísticos para calibração permitiria sintetizar o resultado dos numerosos trabalhos.

O presente estudo justifica-se pela ausência de paridade de métodos estatísticos abordados na calibração de índices térmicos em espaços abertos. Em vista disso, este trabalho pode contribuir para a escolha de um método que produza melhores resultados do ponto de vista estatístico.

1.4 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Esta pesquisa descreveu as calibrações dos índices PET e UTCI utilizando três metodologias estatísticas mais utilizadas nos estudos precedentes, a partir de uma amostra de 3630 observações de estudos anteriores no município de Belo Horizonte - MG, região de clima tropical. Dentre as restrições deste trabalho estão:

- ✓ Ainda que se tenha uma amostra expressiva de 3630 dados em todas as estações do ano, foi obtida uma pequena quantidade de respondentes nas estações primavera e outono. Uma quantidade maior de respondentes nessas estações seria recomendada; e
- ✓ A base de dados utilizada, com 3630 valores, é específica do clima local de Belo Horizonte, e, o método estatístico com melhor ajuste neste estudo poderá não ser o mais adequado para outras bases de dados.

2. REVISÃO TEÓRICA

O presente capítulo apresenta os principais conceitos relacionados ao tema desta pesquisa, de forma a facilitar a compreensão de sua abordagem. Para isso, torna-se necessário o entendimento do conceito e interpretação dos índices de conforto térmico PET e UTCI e de seus processos de calibração.

Este capítulo também apresenta o levantamento de estudos precedentes sobre a calibração dos índices de conforto térmico PET e UTCI em espaços abertos.

2.1 OS ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO: PET E UTCI

Com base em modelos de balanço térmico do corpo humano, que visam o equilíbrio térmico e a integração de fatores climáticos e fisiológicos, avalia-se o conforto térmico por meio de índices (HÖPPE, 2002; HÖPPE, 1987).

Os índices têm sido amplamente utilizados com a finalidade de avaliar a percepção térmica das pessoas com relação às condições microclimáticas em diversos locais (GOBO et al., 2018).

Os índices podem ser caracterizados em três grupos: índices diretos, empíricos e racionais. Os índices diretos são respaldados em medições diretas de variáveis ambientais, como temperatura e umidade do ar; os índices empíricos relacionam a percepção térmica subjetiva com o ambiente térmico e os índices racionais são baseados na equação do balanço de calor do corpo humano, que envolve a integração de variáveis tanto ambientais quanto comportamentais. Os dois primeiros são índices simples utilizados como indicadores para o ambiente térmico e, não consideram fatores relevantes, como atividade, roupas, altura, peso, idade e sexo. Para uma abordagem mais ampla, em que todos os parâmetros relevantes são considerados, os índices baseados na modelagem de balanço de calor do corpo humano são ferramentas cruciais, podendo ser utilizados para embasar tomadas de decisões que visem a mitigar ou melhorar os efeitos dos elementos do clima urbano (EPSTEIN; MORAN, 2006) (HÖPPE, 1993).

Diferentes índices são necessários para avaliar o conforto térmico em ambientes internos ou externos (HÖPPE, 2002). Existe um considerável número de índices de conforto/sensação térmica com potenciais variados de aplicação em espaços abertos, os quais podem ser ajustados ou calibrados à situação local (MONTEIRO, 2008).

Em relação à seleção dos índices térmicos para a realização de pesquisas ao ar livre, Potchter *et al.* (2018) afirmaram que 72% dos 199 estudos de caso analisados,

utilizaram os índices PET e UTCI. Estes são índices baseados no balanço energético do corpo humano, descrevendo os efeitos das condições meteorológicas (radiação, temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do vento) e de condições termofisiológicas (roupas e atividades) em indivíduos ao ar livre. Esses índices são expressos em graus Celsius (°C) (LAI; ZHOU; CHEN, 2017; MATZARAKIS; MUTHERS; RUTZ, 2014).

Matzarakis, Mayer e Iziomon (1999), relatam que índices obtidos a partir do balanço energético, como PET e UTCI, têm a vantagem de a unidade de medida utilizada ser amplamente conhecida (°C), tornando os resultados mais compreensíveis.

Os índices PET e UTCI são calculados com o auxílio de softwares, tais como, o Rayman e o Bioklima 2.6, dentre outros (HIRASHIMA, 2010; SILVA, 2019).

O Índice de Temperatura Equivalente Fisiológica (PET), proposto por Höppe e Mayer, em 1987 (HÖPPE, 1999), é baseado no Modelo de Balanço Energético de Munique para Indivíduos (MEMI). O MEMI é um modelo estacionário que considera o modelo de balanço térmico humano de dois nós de Gagge (1986).

Conforme Norma Internacional ISO 7730 (2005), O “estado estacionário”, ou permanente, desenvolvido por Fanger, assume que o corpo, em um determinado ambiente, encontra-se em estado de equilíbrio, não ocorrendo, portanto, acúmulo de calor em seu interior. Desse modo, o ganho de calor no corpo ocorre através de produção de calor pelo metabolismo, e as perdas de calor se sucedem através da respiração e pela pele. O modelo de dois nós considera separadamente o calor acumulado na pele e o calor acumulado na parte central do corpo. O corpo assim modelado, encontra-se bem próximo à condição de neutralidade térmica, que, segundo Fanger (1970), é a condição na qual uma pessoa não prefira nem mais calor nem mais frio no ambiente que se encontra.

Assim, o balanço térmico MEMI pode ser representado, segundo Höppe (1999):

$$M-W+R+C+Q_{\text{res}}-E_{\text{dif}}-E_{\text{rs}}=0 \quad (1)$$

Onde:

M é a taxa metabólica, em Watt;

W é o trabalho mecânico desenvolvido pelo corpo (W/m^2), sendo que para a maioria das atividades humanas esse trabalho é nulo;

R é o “Saldo” devido às trocas por radiação, em Watt;

C é o fluxo de calor convectivo, em Watt;

ED é o fluxo de calor latente para evaporação da água em vapor de água difuso através da pele (transpiração imperceptível), em Watt;

ERe é a soma dos fluxos de calor para aquecimento e umidificação do ar inspirado, em Watt;

ESw é o fluxo de calor devido à evaporação do suor, em Watt;

S é o fluxo de calor a ser armazenado para aquecimento ou resfriamento da massa corporal, em Watt.

Na Equação 1 alguns termos dependem da temperatura média da superfície da roupa, da temperatura média da pele e da taxa de suor (base para o cálculo de Esw e função da temperatura do centro do corpo, uma vez que depende das condições ambientais e da atividade física desenvolvida). Portanto, para resolver a Equação 1, as três quantidades desconhecidas devem ser avaliadas primeiro, ou seja, a temperatura média da superfície da roupa (T_{cl}), a temperatura média da pele (T_{sk}) e a temperatura central (T_c). Para a quantificação dessas incógnitas mais duas equações, além da Equação 1, são necessárias, visando descrever o fluxo de calor do centro do corpo para a superfície da pele (F_{cs}) (Equação 2) e o fluxo de calor da superfície da pele para a superfície externa da roupa (F_{sc}) (Equação 3). Após resolução das três equações, encontram-se os valores da temperatura da superfície externa da roupa, da pele e do centro do corpo (HÖPPE, 1999).

$$F_{cs} = V_b \times p_b \times c_b \times (T_c - T_{sk}) \quad (2)$$

$$F_{sc} = (1/l_{cl}) \times (T_c - T_{sk}) \quad (3)$$

Onde:

V_b - fluxo sanguíneo do centro do corpo para a pele (em $1s^{-1}m^{-2}$, dependendo do nível da temperatura da pele e do centro do corpo);

p_b - densidade do sangue (Kg/l);

c_b - calor específico do sangue ($W s K^{-1} kg^{-1}$);

I_{cl} – resistência térmica da vestimenta (em $K m^2 W^{-1}$);

T_c - temperatura do centro do corpo ($^{\circ}C$);

T_{sk} – temperatura média da pele ($^{\circ}C$);

As principais diferenças do MEMI para o modelo de dois nós de Gagge são a maneira de calcular a taxa de suor fisiológico (como uma função de T_{sk} e T_c) e o cálculo em separado dos fluxos de calor de partes da superfície corporal que estão descobertas ou cobertas pela vestimenta (HÖPPE, 1999).

Höppe (1999) define o índice PET como a temperatura fisiológica equivalente à temperatura do ar na qual, na qual, em uma situação típica interna, o balanço térmico do corpo humano (metabolismo de 80W e resistência térmica da roupa de 0,9 clo) é mantido com temperaturas do centro do corpo e da pele equivalentes às condições em avaliação. Para o ambiente de referência, tem-se: temperatura radiante média igual à temperatura do ar ($t_{r}=t_{ar}$); velocidade do ar igual a 0,1 m/s ($v=0,1$ m/s); pressão de vapor igual a 12hPa ($p_v=12$ hPa); metabolismo de 80W ($M=80$ W) e resistência térmica da roupa de 0,9 clo ($I_{clo}=0,9$ clo).

Para obtenção dos valores de PET, calcula-se as condições térmicas do corpo com o modelo MEMI para dada combinação de parâmetros meteorológicos e, soluciona-se as equações 1 a 3 para encontrar a temperatura do ar, considerando os valores de referência. A temperatura do ar resultante corresponde à temperatura equivalente fisiológica (PET) (HÖPPE, 1999).

A suposição de valores constantes para roupas e atividade no cálculo do PET foi feita propositalmente para definir um índice independente do comportamento individual. Por outro lado, isso não restringe essencialmente a sua aplicabilidade, pois a variação do vestuário e atividade não leva a valores PET significativamente diferentes. Assim, com roupas mais grossas, por exemplo, as temperaturas do centro do corpo para a superfície da pele e da superfície da pele para a superfície externa da roupa são calculadas para a roupa de referência de 0,9 clo. Em outras palavras, em uma constante PET de 20 $^{\circ}C$ por exemplo, uma pessoa vestida com 0,9 clo (metabolismo de 80 W) atingirá uma temperatura média da pele de 33,7 $^{\circ}C$, pessoa que realiza a

mesma atividade e vestindo um casaco (2,0 clo), no entanto, terá uma temperatura de pele de 34,7 ° C (HÖPPE, 1999).

PET é um índice climático para avaliar o ambiente térmico, e como é independente de roupas e atividades, não é uma medida absoluta de conforto térmico. Os principais parâmetros meteorológicos que influenciam o balanço energético humano incluem a temperatura do ar, a pressão de vapor, a velocidade do ar e a temperatura radiante média do ambiente (MATZARAKIS et al., 1999; HÖPPE, 2000).

O Índice de Clima Térmico Universal (UTCI), proposto pela *International Society of Biometeorology* (ISB), em 2001 (www.utci.org), é baseado no modelo Fiala, de balanço de energia, que simula a resposta de um indivíduo a um ambiente ao ar livre através de um modelo de termorregulação de múltiplos nós (340 nós) acoplados a um modelo de isolamento de roupas adaptável à temperatura (FIALA et al. 2012; HAVENITH et al. 2012).

Blazejczyk *et al.* (2013) complementam que este modelo de múltiplos nós compreende doze elementos do corpo abarcando 187 nós do tecido total do corpo humano.

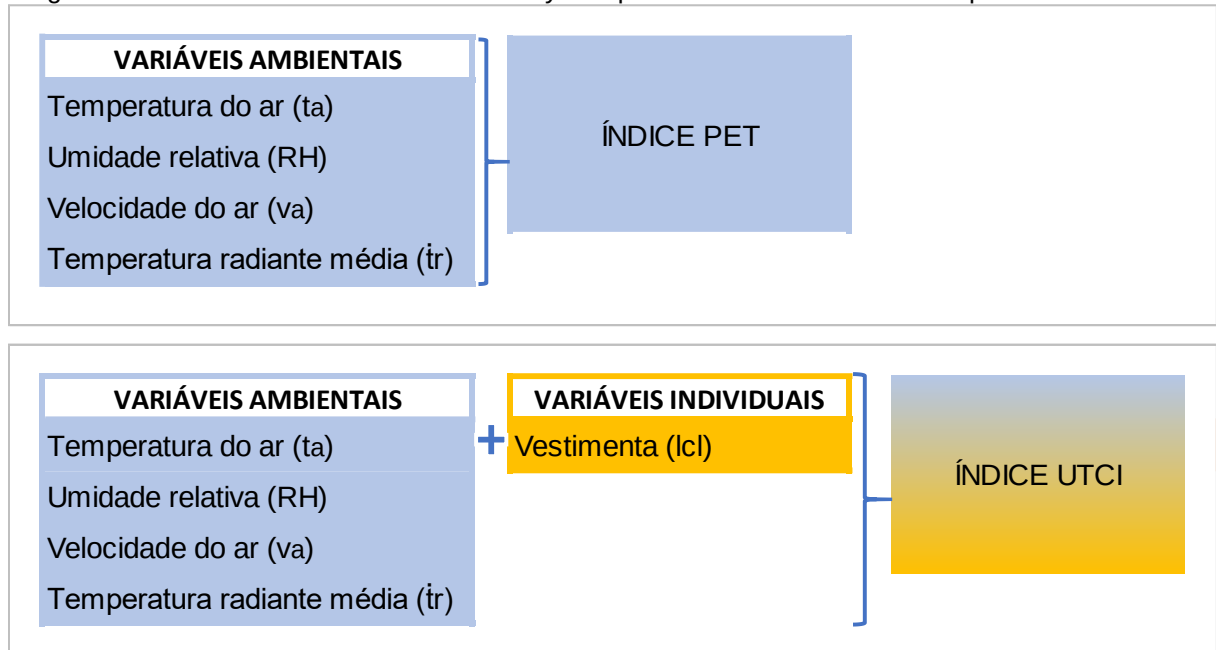
De acordo com Bröde, Fiala e Krüger (2013), o UTCI busca definir a temperatura do ambiente externo que integra a temperatura do ar, velocidade do vento, umidade e fluxos de radiação no estado termo-fisiológico humano em termos de temperatura equivalente. Isso envolveu a definição de um ambiente de referência com 50% de umidade relativa (mas pressão de vapor não superior a 20 hPa), velocidade do ar de 0,5m/s, temperatura radiante média igual à temperatura do ar e metabolismo de 135 W/m², acoplado a um modelo de vestimenta.

2.2 VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DO ÍNDICE PET PELO SOFTWARE RAYMAN E UTCI PELO SOFTWARE BIOKLIMA

As variáveis presentes no cálculo do índice PET inseridas no software utilizado no presente estudo (Rayman Pro 2.3 beta), são: Temperatura do ar, Umidade relativa, Velocidade do ar e Temperatura radiante média. Enquanto para o índice UTCI, os

dados de entrada no software em estudo (Bioklima) são as quatro variáveis ambientais e a variável individual vestimenta (Figura 1).

Figura 1 - Dados de entrada no software Rayman para o índice PET e Bioklima para o índice UTCI.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Quatro variáveis climáticas ou ambientais são utilizadas para o cálculo dos índices de conforto térmico para ambientes externos: temperatura do ar, umidade, velocidade do ar e temperatura radiante média. A unidade de medida dos parâmetros ambientais é expressa no Quadro 1 (MONTEIRO L. M., DUARTE D., GONÇALVES J. et al., 2008).

Quadro 1 - Unidade de medida das variáveis microclimáticas.

Variáveis ambientais	Unidade de medida
Temperatura do ar (ta)	°C
Umidade relativa (RH)	%
Velocidade do ar (va)	m/s
Temperatura radiante média (tr ou Tmrt)	°C

Fonte: Adaptado de ISO 7726 (1998).

A umidade relativa, temperatura do ar e velocidade do ar podem ser obtidos por meio dos equipamentos: Data Logger de temperatura e umidade e Anemômetro, respectivamente. A medição precisa dessas variáveis depende da calibração do instrumento, sendo recomendado seguir as especificações da norma ISO 7726 (1998).

Os sensores de temperatura do ar, velocidade do ar e umidade relativa geralmente são fixados na altura de 110 cm, conforme a ISO 7726 (1998) para os índices PET e UTCI. Porém, no índice UTCI, aplica-se a fórmula para cálculo da velocidade do ar a 10 m de altura. Além disso, a variável temperatura radiante média, identificada pela sigla T_{mrt} ou $t_{\bar{r}}$, também é calculada por fórmula para os índices PET e UTCI, dependendo das seguintes variáveis: temperatura do ar, temperatura e emissividade do globo, e velocidade do ar (ISO 7726/1998). A temperatura e emissividade do globo é medida em graus Celsius pela temperatura de globo. O termômetro de globo cinza é indicado quando houver exposição ao sol, em função da sua absorção de radiação térmica de onda curta ser aproximada à das pessoas normalmente vestidas (ISO 7726, 1998).

Para cálculo da temperatura radiante média, com base nos valores de temperatura de globo cinza, de 40 mm, utilizou-se a equação estabelecida pela ISO 7726 (1998), para convecção forçada. As fórmulas para cálculo da velocidade do vento a 10 m de altura e para o cálculo da temperatura radiante média são descritas e referenciadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Fórmulas utilizadas para cálculo da Velocidade do Vento a 10m e da Temperatura Radiante Média.

Fórmula para cálculo da Velocidade do Vento a 10m – Índice UTCI:		
$va = v_{axm} * \frac{\log\left(\frac{10}{0,01}\right)}{\log\left(\frac{x}{0,01}\right)}$		
Descrição Referência:	va = velocidade do vento a 10 metros de altura, em m/s; vaxm = velocidade do vento medida à x metros, em m/s.	Bröde <i>et al.</i> , 2012
Fórmula para cálculo da Temperatura Radiante Média – Índice PET e UTCI:		
$T_{mrt} = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{1,1 \times 10^8 \times v_a^{0,6}}{\epsilon_g \times D^{0,4}} \times (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273$		
Descrição Referência:	T_{mrt} = temperatura radiante média, em °C; T_g = temperatura de globo, em °C; V_a = Velocidade do ar, em m/s; ϵ_g = emissividade do material do termômetro de globo (adimensional); e T_a = temperatura do ar, em °C.	ISO 7726 (1998) Convecção forçada

Fonte: Silva (2019).

Um estudo dos efeitos das condições microclimáticas sobre o uso de espaços abertos no clima mediterrâneo (Grécia), demonstrou que a temperatura do ar e a temperatura

radiante média são os parâmetros mais dominantes em relação ao uso de espaço externo, com a velocidade do vento e umidade relativa tendo um efeito muito fraco. Enquanto no estudo realizado por Cheng *et al.* (2012), para o clima subtropical de Hong Kong, a velocidade do vento influenciou de forma significativa na sensação do conforto.

Estudos como os de Thorsson *et al.* (2007), Nikolopoulou e Lykoudis (2007), Cheng e *et al.* (2012), afirmam que, em ambientes abertos, as variáveis microclimáticas estão intrinsecamente relacionadas com a sensação térmica das pessoas, sendo que, a temperatura do ar, temperatura radiante média e velocidade do ar foram as variáveis determinantes na sensação de conforto. A temperatura radiante média é um dos parâmetros meteorológicos mais importantes para avaliação do conforto térmico humano.

Yao *et al.* (2018) relataram em seu estudo que a temperatura do ar obteve maior efeito na sensação térmica, enquanto que a umidade relativa obteve uma influência estatisticamente desprezível.

Os valores da vestimenta são considerados de acordo com a ISO 9920 (2007), em que o modelo de roupa de cada entrevistado é descrito somando peça por peça, para gerar valores numéricos contínuos expressos na unidade “clo”, sendo 1 clo correspondente a 0,155 m².K/W (Quadro 3).

Quadro 3 - Resistência Térmica do Vestuário (Icl) expresso em “clo”.

Roupas Íntimas	Meias	Calçados	Camisas e Blusas			
Calcinha	Meia fina	Sandálias	Camiseta manga curta			
0,03 clo	0,02 clo	0,02 clo	0,09 clo			
Sutien	Meia grossa	Chinelo	Camiseta manga longa			
0,01 clo	0,03 clo	0,02 clo	0,16 clo			
Roupas Íntimas	Meias	Calçados	Camisas e Blusas			
Cueca	Meião fino	Bota	Camisa manga curta			
0,04 clo	0,03 clo	0,1 clo	0,25 clo			
Combinação	Meião grosso	Tênis	Camisa manga longa			
0,16 clo	0,06 clo	0,02 clo	0,28 clo			
Ceroulas		Sapato	Top e Regata		Blusa 3/4	
0,15 clo		0,02 clo	0,06 clo		0,27 clo	
Calças		Acessórios	Casacos e Suéteres		Vestidos e Saias	
Calça fina		Luvras	Colete fino	Colete grosso	Saia longa	
0,15 clo		0,08 clo	0,13 clo	0,22 clo	0,23 clo	
Calça grossa		Gorro	Blazer	Paletó	Saia "até a panturrilha"	
0,24 clo		0,01clo	0,35 clo	0,44 clo	0,1 clo	
Bermuda		Boné	Suéter fino	Suéter grosso	Saia até o joelho	Vestido sem manga
0,11 clo		0,01 clo	0,23 clo	0,29 clo	0,14 clo	0,23 clo
Calças		Acessórios	Casacos e Suéteres		Vestidos e Saias	
Short			Jaqueta leve curta	Jaqueta leve longa	Vestido manga curta	Vestido manga longa
0,08 clo			0,21 clo	0,34 clo	0,29 clo	0,32 clo
Macacão sem mangas	Macacão com mangas		Jaqueta grossa curta	Jaqueta grossa longa		
0,24 clo	0,49 clo		0,35 clo	0,42 clo		

Fonte: Adaptado pelo autor (ROSSI, 2012 apud ISO 9920, 2007)

Hábitos sazonais de adaptação de roupas, que se ajustam de acordo com a temperatura ambiente, podem influenciar na avaliação de conforto térmico ao ar livre. Um exemplo disso é o estudo de Rossi, Krüger e Bröde (2012), em que analisaram a variação dos valores preditos de UTCI e temperatura do ar em função da vestimenta para 1654 indivíduos entrevistados em praças e ruas de Curitiba, sendo 944 homens e 710 mulheres. Verificaram que, quando a temperatura do ar e UTCI aumentam, o isolamento térmico da vestimenta diminui, e, a variação da vestimenta em relação aos valores preditos de UTCI é menor nos limites extremos de temperatura do ar. Além disso, constataram-se que as mulheres escolhem menos isolamento térmico que os homens em condições quentes, com UTCI maior que 24°C.

Além da vestimenta, outras variáveis individuais também são coletadas em campo por meio de questionários (altura, sexo biológico, idade, peso, atividade/taxa metabólica), para interpretação da amostra.

Segundo Lamberts *et al.* (1997), a taxa metabólica está diretamente relacionada com a atividade física desenvolvida pelos entrevistados. A taxa metabólica pode ser influenciada por fatores como: idade e sexo biológico. Pois, com o aumento da idade, a quantidade de massa magra no corpo diminui, conseqüentemente reduzindo o metabolismo com o passar dos anos (WILMORE, 2001).

Apesar das influências das variáveis individuais sobre o conforto térmico, os maiores impactos das variações do índice de conforto térmico estão relacionados aos parâmetros ambientais, conforme apontam Krüger, Rossi e Drach (2017).

Nesse sentido, foi observado em estudos anteriores que os quatro parâmetros ambientais estavam sempre inclusos nos dados de entrada para cálculo dos índices PET e UTCI no software específico. Porém, a inclusão dos parâmetros individuais ou fisiológicos nos dados de entrada do software variaram em alguns estudos. Por exemplo, no estudo de Lai *et al.* (2019) foram considerados os seguintes parâmetros individuais para cálculo do índice UTCI: vestimenta e taxa metabólica. Enquanto para cálculo do UTCI no estudo de Silva (2019) foi considerado como parâmetros individuais de entrada: vestimenta, taxa metabólica e o sexo biológico.

Verifica-se também uma variação de entrada de dados no software quanto às variáveis individuais no cálculo do PET. No estudo de Krüger *et al.* (2018), os dados pessoais utilizados para o cálculo do índice PET foram os valores de altura, peso e idade, referentes ao homem médio e à mulher média estabelecidos pela norma ISO 8996 (2004). No estudo de Ribeiro (2019), os parâmetros pessoais adotados para cálculo do índice PET foram: taxa metabólica, isolamento da vestimenta, idade, sexo biológico e peso, adotando um participante médio para diferentes gêneros em que para homens foi adotado a altura de 1,74m, peso de 74kg, e idade de 54 anos, e para as mulheres foi adotado a altura de 1,54m, peso de 64kg e idade de 24 anos.

2.3 CALIBRAÇÃO DOS ÍNDICES

A calibração considera os aspectos físicos e fisiológicos (que influenciam no balanço térmico do corpo humano) e os fatores adaptativos às condições climáticas locais, buscando, por meio de métodos estatísticos, determinar as faixas representativas das condições de conforto térmico e dos diversos graus de conforto ou desconforto devido ao frio ou ao calor. É importante realizar a calibração para conhecer a percepção térmica real e local (MONTEIRO; ALUCCI, 2011; ROSSI, KRÜGER, BRODE, 2012), pois as sensações térmicas diferem entre os indivíduos, até mesmo quando estes estão no mesmo ambiente. Para se encontrar a faixa de conforto térmico, aplica-se a calibração dos índices (LIN, MATZARASKIS, 2008).

Estudos iniciais apresentam a faixa de sensação térmica neutra da temperatura fisiologicamente equivalente (PET) correspondente a 18-23 °C de PET (Matzarakis *et al.*, 1999) para a Europa Central. Para o índice UTCI, a faixa de conforto térmico neutro equivale a 9-26 °C (Quadro 4). A temperatura neutra significa que as pessoas não sentem calor nem frio (LI, ZHOW, YANG, 2017).

Quadro 4 - Intervalos dos índices térmicos UTCI e PET para diferentes percepções térmicas.

UTCI (°C)	PET (°C)	Estresse Térmico	Percepção Térmica
<-40	-	Estresse extremo para o frio	-
-27 a -40	Abaixo de 4	Estresse muito forte para o frio	Muito frio
-13 a -27	4 a 8	Estresse forte para o frio	Frio
0 a -13	8 a 13	Estresse de frio moderado	Pouco frio
9 a 0	13 a 18	Pouco estresse para o frio	Leve frio
9 a 26	18 a 23	Conforto Térmico / Sem Estresse Térmico	Neutro
26 a 32	23 a 29	Estresse de calor moderado	Leve calor
32 a 38	29 a 35	Estresse forte para o calor	Pouco calor
38 a 46	35 a 41	Estresse muito forte para o calor	Calor
>46	Acima de 41	Estresse extremo por calor	Muito Calor

Fonte: Adaptado de ISB (2001, 2003); Bröde et al. (2012); Matzarakis; Mayer; Iziomon (1999).

Há muitos estudos que comparam os resultados da faixa de conforto térmico com esses estudos iniciais. Por exemplo, para a região de clima temperado Szeged, na Hungria, a calibração do índice PET aplicada por Kántor, Kovács e Takács (2016) gerou uma faixa de conforto térmico de PET de 13,5 - 22,2 °C, demonstrando menores valores no limite inferior em relação à escala de PET original geralmente adotada (18-23 °C). Isto significa que o intervalo neutro é mais amplo na Hungria, e um pouco deslocado para condições térmicas com temperaturas mais baixas.

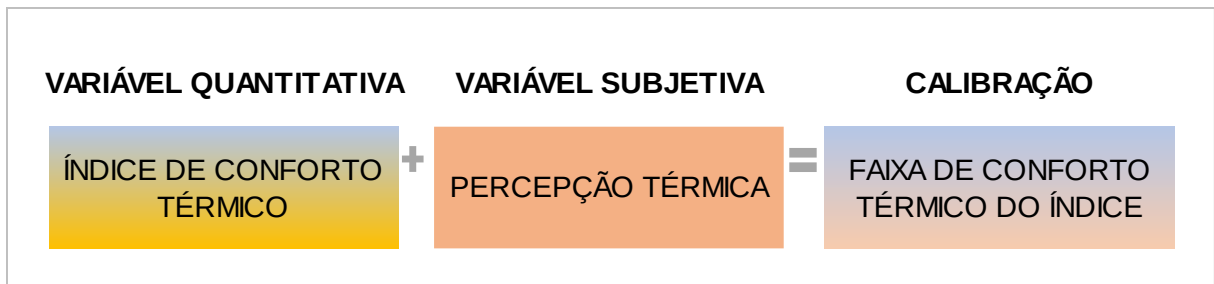
Neste contexto, a comparação dos resultados obtidos de cada calibração com as faixas de referência dos estudos iniciais somente é efetiva quando o estudo de calibração englobar as mesmas condições microclimáticas, índice e método estatístico (NIKOLOPOULOU; STEEMERS, 2003).

Krüger *et al.* (2018) reforçam a necessidade de calibração de índices para outras localidades, devido à existência de diversas realidades climáticas e diferentes faixas de percepções térmicas quando comparadas às faixas originalmente propostas pelos desenvolvedores de tais índices térmicos.

2.3.1 VARIÁVEIS PARA CALIBRAÇÃO DOS ÍNDICES

A calibração da faixa de conforto térmico está relacionada a duas variáveis (Figura 2): índice de conforto térmico (°C) e votos de percepção de sensação térmica.

Figura 2 - Parâmetros para calibração dos índices de conforto térmico em espaços abertos.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Os índices de conforto térmico em estudo (PET e UTCI) são variáveis quantitativas que recebem influências principalmente de parâmetros climáticos (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade do ar), avaliando seu real efeito sobre os processos regulatórios e sobre o estado térmico do corpo.

A variável subjetiva denomina-se percepção de sensação térmica, que representa o estado psicológico, cultural, físico e social dos indivíduos expostos ao ambiente térmico, medida por meio de questionário fundamentado na ISO 10551 (1995), referente à seguinte pergunta: “Como está se sentindo neste exato momento?”. A resposta é aplicada por meio de escalas de avaliação ou julgamento.¹

Essas escalas definem como uma pessoa percebe ou sente o ambiente térmico em um determinado momento. Conforme recomendado na norma ISO 10551 (1995) e indicado na norma ISO 7730 (2005), utiliza-se a escala de percepção térmica de 7 (sete) pontos, aplicada no caso de ambientes considerados temperados (Quadro 5).

Quadro 5 - Escala de percepção térmica de sete pontos.

Graus de intensidade	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Respostas possíveis	Frio	Pouco frio	Leve frio	Neutro	Leve calor	Pouco calor	Calor

Fonte: Adaptado de ISO 10551 (1995)

E, no caso de ambientes julgados mais intensamente quente ou frio, aplica-se uma escala de 9 graus, conforme destacado no Quadro 6.

¹ Antes de aplicar a escala de avaliação ou julgamento realiza-se a seguinte questão introdutória: “How are you feeling (at this precise moment)?”. É recomendável que as escalas completas sejam apresentadas, mesmo em casos de ambientes localizados apenas no frio ou no calor (ISO 10551, 1995).

Quadro 6 - Escala de percepção térmica de nove pontos.

Graus de intensidade	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
Respostas possíveis	Muito frio	Frio	Pouco frio	Leve frio	Neutro	Leve calor	Pouco calor	Calor	Muito Calor

Fonte: Adaptado de ISO 10551 (1995)

O ponto neutro representa a zona neutra, que é a faixa de temperatura do ar, associada à temperatura radiante média específica, umidade e movimento do ar, dentro da qual um ser humano com uma roupa específica expressa indiferença à temperatura ambiente por um período indeterminado (IUPS, 2003).

2.4 LEVANTAMENTO DE ESTUDOS PRECEDENTES

Neste estudo, realizou-se uma busca de artigos de periódicos, revistas e teses e dissertações, tanto internacionais quanto nacionais, com data de publicação a partir de 2003 até o momento e, acesso livre, para análise dos métodos adotados para encontrar os resultados da faixa de conforto térmico calibradas para os índices PET e UTCI. Quatro grupos de palavras-chave foram definidos e combinados para contextualização do tema:

- GRUPO 1: “Calibration” OR “Statistical Methods” AND
- GRUPO 2: “Physiological Equivalent Temperature” OR “PET” OR
- GRUPO 3: “Universal Thermal Climate Index” OR “UTCI” AND
- GRUPO 4: “Thermal Comfort Range”

Para ser selecionado, o documento deve apresentar o resultado da calibração do índice PET e/ou UTCI utilizando a escala de avaliação subjetiva referente à percepção térmica, conforme norma ISO 10551 (1995).

Foram identificados 29 estudos que analisaram o conforto térmico externo por meio da calibração do índice PET e UTCI em relação à percepção de sensação térmica, demonstrando que os ocupantes têm sensações térmicas diferentes e que estas variam em diferentes regiões. Alguns estudos realizaram mais de uma calibração, por

exemplo, os estudos de Krüger, Rossi e Drach (2017) e Krüger *et al.* (2020) apresentaram três resultados de calibração para três locais e climas distintos. Desse modo, o levantamento apresenta 44 calibrações de índices PET e UTCI, provenientes de 29 estudos. Cada trabalho avalia um grupo específico de indivíduos submetidos a condições climáticas também específicas, bem como trata a amostra por meio de diferentes métodos estatísticos (Quadro 7).

Quadro 7 - Levantamento bibliográfico sobre os métodos, número de dados da amostra, locais e suas características, classificação climática de Köppen-Geiger, índices e faixas calibradas.

Número	Autores	Ano	Método	Número de dados amostra	Estação do ano	Características do local medido	Clima	Local	Clima	Índice	Percepção Térmica								
											-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
											Muito Frio	Frio	Pouco Frio	Leve Frio	Neutro	Leve Calor	Pouco calor	Calor	Muito Calor
1	SPAGNOLO, SW., & DE DEAR, R.	2003	Análise de Regressão - Modelo Probit	1018	Inverno e Verão	Gramados e pavimentos	Cfa	Sydney, Austrália	Cfa	PET	-	-	-	-	23,1 a 24,8	-	-	-	-
2	MONTEIRO	2008	Método Iterativo	2258	Inverno e Verão	Piso de concreto a céu aberto e gramados	Cfa	São Paulo, Brasil	Cfa	PET		=<4	4 a 12	12 a 18	18 a 26	26 a 31	31 a 43	> 43	-
3	LIN, T.; MATZARASKIS, A.	2008	Análise de Regressão Linear	1644	Todas as estações	Ilha - Lago "Sun Moon Lake"	Cfa	Taiwan, China	Cfa	PET	< 14	14 a 18	18 a 22	22 a 26	26 a 30	30 a 34	34 a 38	38 a 42	> 42
4	SOUZA, S. H. M.	2010	Análise de Regressão Logística - Modelo Logito	1002	Verão e Inverno	Praças	Af	Salvador, Brasil	Af	PET	-	-	-	-	22 a 31	28 a 31	28 a 31	> 31	-
5	SOUZA, S. H. M.	2010	Árvore de Decisão	1002	Verão e Inverno	Praças	Af	Salvador, Brasil	Af	PET	-	-	-	-	26 a 29	-	29 a 34	34 a 40	-
6	SOUZA, S. H. M.	2010	Box-plot	1002	Verão e Inverno	Praças	Af	Salvador, Brasil	Af	PET	-	-	-	26 a 28	27 a 29	27 a 30	28 a 31	28 a 32	-
7	HIRASHIMA, S.Q.S.	2010	Análise de Regressão Logística - Modelo Logito	944	Verão e Inverno	Praças	Aw	Belo Horizonte, Brasil	Aw	PET	-	-	-	-	< 30,5	-	30,5 - 35	> 35	-
8	ROSSI, F. A., KRÜGER, E.; BRÖDE, P.	2012	Análise de Regressão Linear	1654	Outono, Inverno e Verão	Praças e Ruas	Cfb	Curitiba, Brasil	Cfb	UTCI	-	-	-	< 15	15 a 27	> 27	-	-	-
9	COHEN, P., POTCHER, O., MATZARAKIS, A.	2013	Função Discriminante	1731	Inverno e Verão	Parque, praça e desfiladeiro de rua	Csa	Tel Aviv, Israel	Csa	PET	< 8	8 a 12	12 a 15	15 a 19	19 a 26	26 a 28	28 a 34	34 a 40	> 40
10	PANTAVOU, K., SANTAMOURIS, M., ASIMAKOPOULOS, D., THEOHARATOS, G.	2014	Análise de Regressão Linear	1706	Inverno e Verão	Praça, rua e porto	Csa	Atenas, Grécia	Csa	UTCI	-	< 10,6	10,6 a 15,3	15,4 a 19,9	20 a 24,4	24,5 a 29,2	29,3 a 33,8	> 33,8	-
11	PANTAVOU, K., SANTAMOURIS, M., ASIMAKOPOULOS, D., THEOHARATOS, G.	2014	Análise de Regressão Linear	1706	Inverno e Verão	Praça, rua e porto	Csa	Atenas, Grécia	Csa	UTCI	-	< 8,9	8,9 a 14,4	14,5 a 20	20,1 a 25,2	25,3 a 29,9	30 a 33,4	> 33,4	-
12	PANTAVOU, K., SANTAMOURIS, M., ASIMAKOPOULOS, D., THEOHARATOS, G.	2014	Análise de Regressão - Modelo Probit	1706	Inverno e Verão	Praça, rua e porto	Csa	Atenas, Grécia	Csa	UTCI	-	< 2,3	2,3 a 7,9	8,0 a 16,7	16,8 a 24,5	24,6 a 30,9	31 a 37,6	>= 37,7	-
13	LAI, D.; GUO, D.; HOU, Y.; LIN, C.; CHEN, Q.	2014	Análise de Regressão Linear	1585	Verão e Inverno	Parque	Dwa	Tianjin, China	Dwa	PET	< -16	-16 a -11	-11 a -6	-11 a 11	11 a 24	24 a 31	31 a 36	36 a 46	> 46
14	LAI, D.; GUO, D.; HOU, Y.; LIN, C.; CHEN, Q.	2014	Análise de Regressão Linear	1585	Verão e Inverno	Parque	Dwa	Tianjin, China	Dwa	UTCI	< -16	-16 a -11	-11 a -6	-6 a 12	12 a 25	25 a 33	33 a 39	39 a 47	> 47
15	SILVA, F. T., ALVAREZ, C. E.	2015	Gráfico de Frequência	841	Verão, Inverno e Primavera	Ruas	Am	Vitória, Brasil	Am	PET	-	-	-	18 a 20	20 a 22	22 a 30	30 a 34	> 46	-
16	KANTORL, N., KOVÁCS, A., TAKÁCS, A.	2016	Análise de Regressão Linear	5805	Primavera, Verão e Outono	Praças, ruas e parques	Cfb	Szeged, Hungria	Cfb	PET	-	-	-	-	13,5 e 22,2	-	-	-	-
17	HIRASHIMA, S.Q.S., ASSIS, E. S., NIKOLOPOULOU, M.	2016	Análise de Regressão Logística - Modelo Logito	1693	Verão e Inverno	Praças	Aw	Belo Horizonte, Brasil	Aw	PET	-	-	-	< 18,9	19 a 27	> 27,1	-	-	-
18	SALATA F.; GOLASI, I.; VOLLARO, R.L.; VOLLARO, A.L.	2016	Análise de Regressão Linear	941	Todas as estações	Estacionamento sob asfalto, espaço verde com árvores, quintal com fonte, cânions urbanos típicos	Csa	Roma, Itália	Csa	PET	-	-	-	-	21,1 a 29,2	-	-	-	-
19	LUCCHESI, J.; MKURI, L.; FREITAS, N. V. S.; ANDREASI, W. A.	2016	Gráfico de Frequência	408	Inverno e Primavera	Praça	Cfa	Campo Grande, Brasil	Cfa	PET	< 11	11 a 15	-	15 a 21	21 a 27	27 a 32	-	> 32	-
20	KRÜGER, E., ROSSI, F., DRACH, P.	2017	Análise de Regressão Linear	567	Inverno, Primavera e Verão	Ruas	Cfb	Glasgow, Reino Unido	Cfb	PET	-	-	-	1 a 10	10 a 18	18 a 27	-	-	-
21	KRÜGER, E., ROSSI, F., DRACH, P.	2017	Análise de Regressão Linear	985	Primavera e Verão	Ruas	Aw	Rio de Janeiro, Brasil	Aw	PET	-	-	-	-	22	22 a 36	36 a 49	-	-
22	KRÜGER, E., ROSSI, F., DRACH, P.	2017	Análise de Regressão Linear	1685	Verão, Outono e Inverno	Ruas	Cfb	Curitiba, Brasil	Cfb	PET	-	-	-	-	13 a 25	25 a 37	-	-	-
23	LI, ZHOU, YANG	2017	Box-plot	1582	Verão	Universidade Guangzhou	Cfa	Guangzhou, China	Cfa	PET	-	-	-	-	27,2 a 30,83	-	-	-	-
24	NDETTO EL., MATZARAKIS, A.	2017	Análise de Regressão Linear	606	Inverno, Primavera e Verão	Parque e Praia	Aw	Dar es Salaam, Tanzânia	Aw	PET	-	-	-	-	23 a 31	-	-	-	-
25	NASROLLAH et al.	2017	Análise de Regressão Linear	291	Verão	Espaços abertos próximo a locais históricos	BSk	Isfahan, Irã	BSk	PET	-	-	-	-	23,06 a 29,73	-	-	-	-
26	CHEUNG, P. K.; JIM, C. Y.	2018	Análise de Regressão - Modelo Probit	427	Verão	Parque	Cwa	Hong Kong, China	Cwa	PET	-	-	-	-	18,9 a 31,6	-	-	-	-
27	CHEUNG, P. K.; JIM, C. Y.	2018	Análise de Regressão - Modelo Probit	427	Verão	Parque	Cwa	Hong Kong, China	Cwa	UTCI	-	-	-	-	19,9 a 33,1	-	-	-	-
28	HIRASHIMA, S.Q.S., KATZSCHNER, A., FERREIRA, D.G., ASSIS, E.S.D., KATZSCHNER, A.	2018	Análise de Regressão Logística - Modelo Logito	776	Todas as estações	Espaço aberto com vegetação	Cfb	Freiburg/Kassel, Alemanha	Cfb	PET	-	< 8	8 a 12	13 a 17	18 a 28	29 a 34	35 a 38	> 38	-
29	HIRASHIMA, S.Q.S., KATZSCHNER, A., FERREIRA, D.G., ASSIS, E.S.D., KATZSCHNER, A.	2018	Análise de Regressão Logística - Modelo Logito	1182	Todas as estações	Praças	Aw	Belo Horizonte, Brasil	Aw	PET	-	-	< 12	13 a 15	16 a 30	31	32 a 35	> 36	-
30	GOBO, J.P.A., GALVANI, E., WOLLMANN, C.A.	2018	Análise de Regressão Linear	1728	Verão e Inverno	Praça	Cfa	Santa Maria, Brasil	Cfa	PET	-	< 5	5 a 11	11 a 16	16 a 24	24 a 30	30 a 39	> 39	-
31	KRÜGER, E., ROSSI, F. A., CRISTELI P., SOUZA, H.	2018	Análise de Regressão Linear	1685	Outono, Inverno e Verão	Ruas	Cfb	Curitiba, Brasil	Cfb	PET	-	-	-	-	13 a 25	25 a 37	-	-	-
32	KRÜGER, E., ROSSI, F. A., CRISTELI P., SOUZA, H.	2018	Gráfico de Frequência	1685	Outono, Inverno e Verão	Ruas	Cfb	Curitiba, Brasil	Cfb	PET	-	-	-	-	12 a 28	-	-	-	-
33	KRÜGER, E., ROSSI, F. A., CRISTELI P., SOUZA, H.	2018	Análise de Regressão - Modelo Probit	1685	Outono, Inverno e Verão	Ruas	Cfb	Curitiba, Brasil	Cfb	PET	-	-	-	-	16,2 a 22,9	-	-	-	-
34	KRÜGER, E., ROSSI, F. A., CRISTELI P., SOUZA, H.	2018	Análise de Regressão - Modelo Probit	1685	Outono, Inverno e Verão	Ruas	Cfb	Curitiba, Brasil	Cfb	PET	-	-	-	-	13,1 a 25,5	-	-	-	-
35	KRÜGER, E., ROSSI, F. A., CRISTELI P., SOUZA, H.	2018	Análise de Regressão - Modelo Probit	1685	Outono, Inverno e Verão	Ruas	Cfb	Curitiba, Brasil	Cfb	PET	-	-	-	-	10,9 a 27,4	-	-	-	-
36	LINDNER-CENDROWSKA, BLAZEJCZYK, K.	2018	Análise de Regressão Linear	662	Todas as estações	Espaços abertos cercados por edifícios históricos de 3 ou 4 andares, perto do rio Vístula	Dfb	Varsóvia, Polónia	Dfb	PET	-	-	-	-	6,3 a 21,8	-	-	-	-
37	SILVA, T.	2019	Análise de Regressão Logística - Modelo Logito	755	Verão, Inverno e Primavera	Praças	Aw	Belo Horizonte, Brasil	Aw	UTCI	-	-	-	< 16,9	16,9 a 26,4	> 26,4	-	-	-
38	CANAN, et al	2019	Análise de Regressão Linear	296	Verão	Universidade Selçuk	BSk	Konya, Turquia	BSk	PET	-	-	-	-	21,6 a 32	-	-	-	-
39	SHARMIN et al	2019	Análise de Regressão Linear	1286	Outono e Verão	Ruas	Aw	Dhaka, Bangladesh	Aw	PET	-	-	-	-	29,5 a 32,5	-	-	-	-
40	RIBEIRO, K. F. A.	2019	Gráfico de Frequência	1098	Todas as estações	Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)	Aw	Cuiabá, Brasil	Aw	PET	-	-	-	<= 23,00	23,01 a 34,64	34,65 a 37,56	37,57 a 43,38	>= 43,39	-
41	XU, M. et al.	2019	Análise de Regressão - Modelo Probit	2510	Verão e Inverno	Parque	BSk	Xiam, China	BSk	UTCI	-	-	-	-	18,5 a 29,6	-	-	-	-
42	KRÜGER, E. et al.	2020	Análise de Regressão Linear	1685	Outono, Inverno e Verão	Ruas	Cfb	Curitiba, Brasil	Cfb	UTCI	-	5,0	-	-	15,8 a 24,8	-	-	37,6	-
43	KRÜGER, E. et al.	2020	Análise de Regressão Linear	1691	Verão e Inverno	Praças	Cfa	Belo Horizonte, Brasil	Aw	UTCI	-	-	-	-	20,7 a 25,4	-	-	-	-
44	KRÜGER, E. et al.	2020	Análise de Regressão Linear	1021	Verão, Outono e Inverno	Espaços abertos no centro, fora do centro e próximo da praia	Cfa	Pelotas, Brasil	Cfa	UTCI	-	12,5	-	-	16,9 a 25,2	-	-	38,3	-

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Nos últimos anos, observa-se que o número de pesquisas sobre o assunto vem crescendo. Por meio do levantamento do Quadro 7 observou-se uma diversidade de características nos dados da calibração, como o tamanho da amostra, em que o número de dados das amostras variou entre 291 e 5805 entrevistados. Muitos estudos examinaram mais de uma estação, geralmente verão e inverno. Os locais das entrevistas foram, em sua maioria, parques, praças e ruas.

Nos estudos anteriores foram observados que os votos de sensação térmica são nomeados como TSV (*thermal sensation vote*), coletados por meio da escala de avaliação subjetiva de 7 ou 9 pontos. No entanto, mesmo adotando uma escala de 7 ou 9 pontos, alguns estudos apontam somente a faixa de conforto térmico neutro, quando os indivíduos não sentem frio nem calor, como os estudos de Kántor, Kovács e Takács (2016), Li, Zhou, Yang (2017), Ndetto e Matzarakis (2017), Krüger, Rossi e Cristeli (2018), Cheung e Jim (2018).

Foram identificados variados métodos estatísticos utilizados para calibração dos índices PET e UTCI, assim como locais, climas e faixas de percepção de sensação térmica. As diferentes faixas encontradas mostram que as condições ambientais influenciam diretamente na sensação térmica dos indivíduos.

2.4.1 ANÁLISE DE ESTUDOS PRECEDENTES

No cenário nacional, um dos primeiros trabalhos a apresentar calibração para áreas externas para o índice PET foi de Monteiro (2008), que desenvolveu a calibração do PET para São Paulo pelo método denominado iterativo, que visa maximizar a correlação entre os limites de cada faixa interpretativa do índice e os valores das respostas subjetivas de sensação térmica. Enquanto no cenário internacional um dos primeiros trabalhos foi de Spagnolo e De Dear (2003), em que verificaram a neutralidade térmica do índice PET para o microclima de Sidney pelo método Probit no software SAS.

Para o índice UTCI, no cenário nacional, um dos primeiros trabalhos a apresentar calibração para áreas externas foi de Rossi, Krüger e Bröde (2012), para Curitiba, por

meio da função polinomial de segundo grau, mais comumente usada para relações não lineares, com o gráfico representado por uma parábola. O polinômio foi adotado para ajustar o PPD (Porcentagem Predita de Insatisfeitos), proposto na norma ISO 7730 (ISO, 2005).

Enquanto no cenário internacional, um dos primeiros trabalhos a apresentar calibração para o índice UTCI foi de Pantavou *et al.* (2014), que desenvolveu a calibração do UTCI para Atenas utilizando dois ajustes através do método dos Mínimos Quadrados (regressão linear e cúbica) e um ajuste através do método da Máxima Verossimilhança (probit). Os três métodos foram adotados para ajustar a sensação térmica dos entrevistados, considerando que 50% dos respondentes estavam prestes a mudar seu voto para a próxima classe superior de sensação térmica. Esses modelos foram comparados com base em três critérios estatísticos: Coeficiente de correlação de Spearman entre os valores dos índices e Percepção de Sensação Térmica; medida simétrica de associação Gamma aplicada entre classes de índices e Percepção de Sensação Térmica e, a porcentagem de previsões corretas. Como resultado, o modelo probit foi o método mais apropriado.

Conforme levantamento bibliográfico apresentado, a regressão linear foi o método de calibração mais utilizado por diferentes pesquisadores, como Canan *et al.* (2019); Sharmin *et al.* (2019); Lindner-Cendrowska e Błażejczyk (2018); Krüger *et al.* (2018); Krüger *et al.* (2020); Gobo *et al.* (2018); Krüger, Rossi, Drach (2017); Ndetto, Matzarakis (2017); Salata *et al.* (2016); Kántor *et al.* (2016); Lai *et al.* (2014); Yang *et al.* (2013). Neste caso, os autores utilizaram a média dos votos de sensação térmica dos entrevistados e consideraram a escala de avaliação de sensação térmica agrupada em desconforto para frio (-2,-3), neutro (-1,0,+1) e desconforto para calor (+2, +3). Em seguida, foi definido o intervalo de -0,5 e +0,5 (voto de sensação térmica) como a faixa de conforto, seguindo o procedimento adotado pela ISO 7730 (ISO 2005) (para ambientes térmicos “classe B”).

Por outro lado, alguns pesquisadores optaram pela utilização da regressão logística ordinal, como Hirashima (2010), Souza (2010), Hirashima *et al.* (2016, 2018), Cheung e Jim (2018) e Silva (2019). O resultado compreende gráficos de curvas de regressão de acordo com as escalas de sensação térmica adotadas, a fim de visualizar os pontos

onde as curvas se cruzam, definindo assim os intervalos de PET ou UTCI correspondentes às faixas de sensação térmica.

Souza (2010) e Li, Zhou e Yang (2017) apresentaram a calibração do índice PET por meio do Box-plot, que permite uma visualização gráfica (em caixa), fazendo uma análise entre a variável categórica “sensação térmica” representada no eixo das abscissas e a variável numérica “PET” (°C), representada no eixo das ordenadas. O limite inferior da faixa de conforto térmico é representado pelo primeiro quartil e o limite superior é representado pelo terceiro quartil.

Krüger *et al.* (2018) apresentaram a calibração do índice PET utilizando três metodologias estatísticas diferentes (Regressão linear, Análise Probit e Análise do Gráfico de Frequência) no município de Curitiba. Pelo método da regressão linear agruparam-se os votos de percepção térmica dos entrevistados (variável dependente) em: desconforto para o frio: votos -3 e -2; conforto: votos -1, 0 e +1; e desconforto para o calor: +2 e +3. Pelo método da análise Probit foram considerados três diferentes percentuais de insatisfeitos para a situação-limite da faixa de conforto (10%, 20% e 30%). Já o procedimento de Gráfico de Frequência seguiu a mesma metodologia dos estudos de calibração de Silva e Alvarez (2015), Lucchese *et al.* (2016) e Ribeiro (2019), em que a calibração foi realizada observando-se a maior frequência de respostas térmicas segundo a escala de sete pontos de acordo com variações discretas de 1 °C na escala de PET. Como resultado, o gráfico de frequência foi considerado pouco preciso para definir os limites de conforto térmico, uma vez que obteve maior amplitude térmica que os demais.

Os índices PET e UTCI foram calibrados para diversas regiões, conforme Figuras 3 e 4. No cenário nacional, Curitiba, região de clima temperado (Cfb) e Belo Horizonte, região de clima tropical (Aw) foram os locais mais calibrados, 8 vezes e 5 vezes, respectivamente. No cenário internacional, Atenas (Grécia) foi o local mais calibrado (3 vezes), porém, destaca-se o maior país da Ásia Oriental, a China, onde foram observadas 7 calibrações ao todo, somando todos os locais calibrados (Hong Kong, Taiwan, Tianjin, Guangzhou e Xiam). Hong Kong, Taiwan e Guangzhou possuem climas subtropicais úmidos (Cwa e Cfa). Xiam possui clima semi-árido (BSk), enquanto Tianjin possui clima continental úmido (Dwa).

Figura 3 - Distribuição das calibrações no cenário internacional por local.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 4 - Distribuição das calibrações no cenário nacional por local.

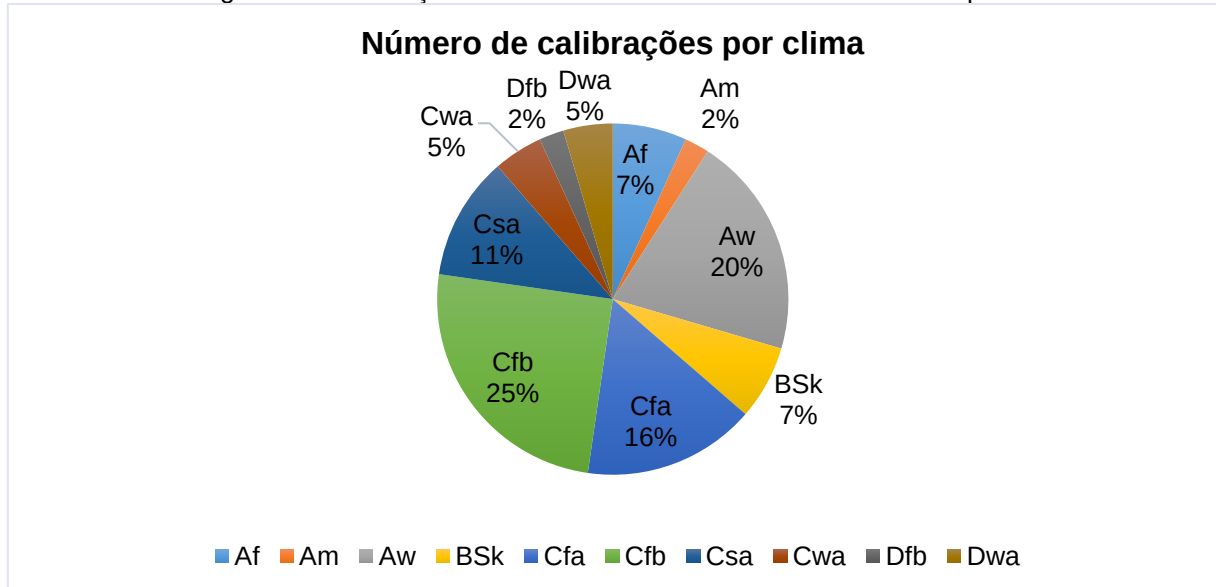


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Os climas observados no levantamento bibliográfico seguiram a Classificação Climática de Köppen, sistema de classificação global dos tipos climáticos, e estão apresentados em forma de porcentagem na Figura 5. Considerando todo o

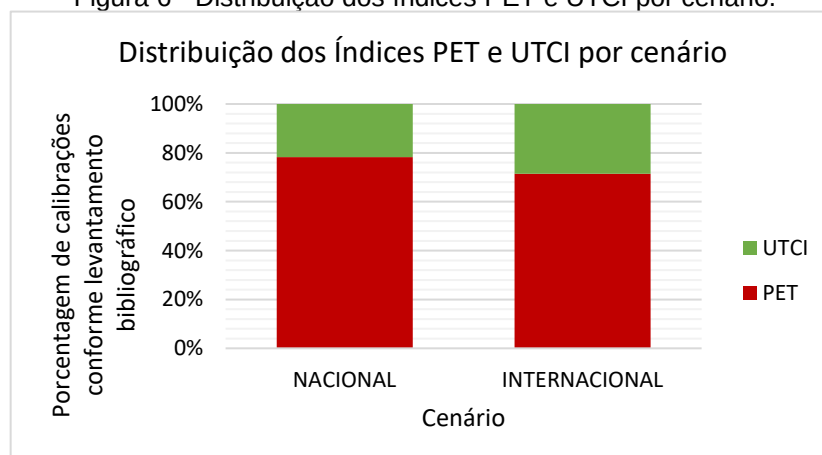
levantamento, os climas classificados como Cfb e Aw alcançaram maior representatividade, com 25% e 20% de calibrações, respectivamente.

Figura 5 - Distribuição dos climas calibrados no cenário nacional por local.



No cenário nacional e internacional, o índice PET obteve maior porcentagem de calibrações, conforme Figura 6. Essa situação pode ser explicada pela razão de ser um índice proposto antes do UTCI. Segundo Potchter *et al.* (2018), o índice PET foi aplicado primeiramente à percepção de sensação térmica em 2003, e desde 2006 o PET tem estado em constante uso, tornando-se desde 2012, o índice com utilização predominante. Além disso, o PET foi inserido em normas alemãs, como na VDI 3787, em 2004, antes da inserção do índice UTCI, em 2020.

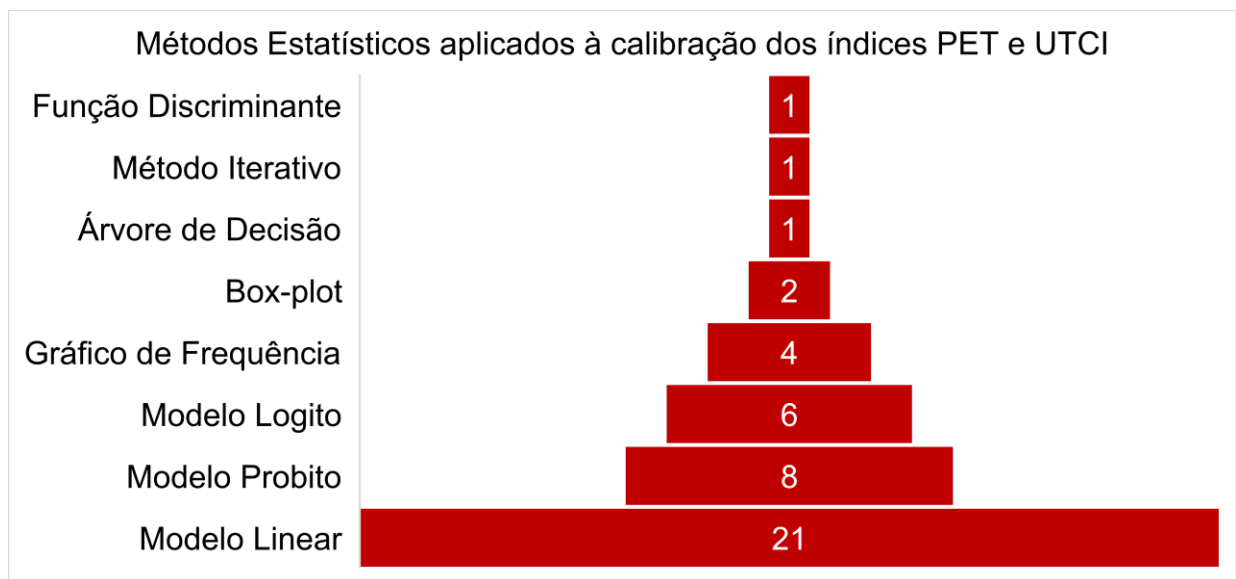
Figura 6 - Distribuição dos índices PET e UTCI por cenário.



2.4.2 MÉTODOS ESTATÍSTICOS MAIS UTILIZADOS

De acordo com a Figura 7, os métodos estatísticos mais utilizados na calibração dos índices PET e UTCI foram: Modelo Linear (21 calibrações), Modelo Probit (8 calibrações) e Modelo Logito (6 calibrações).

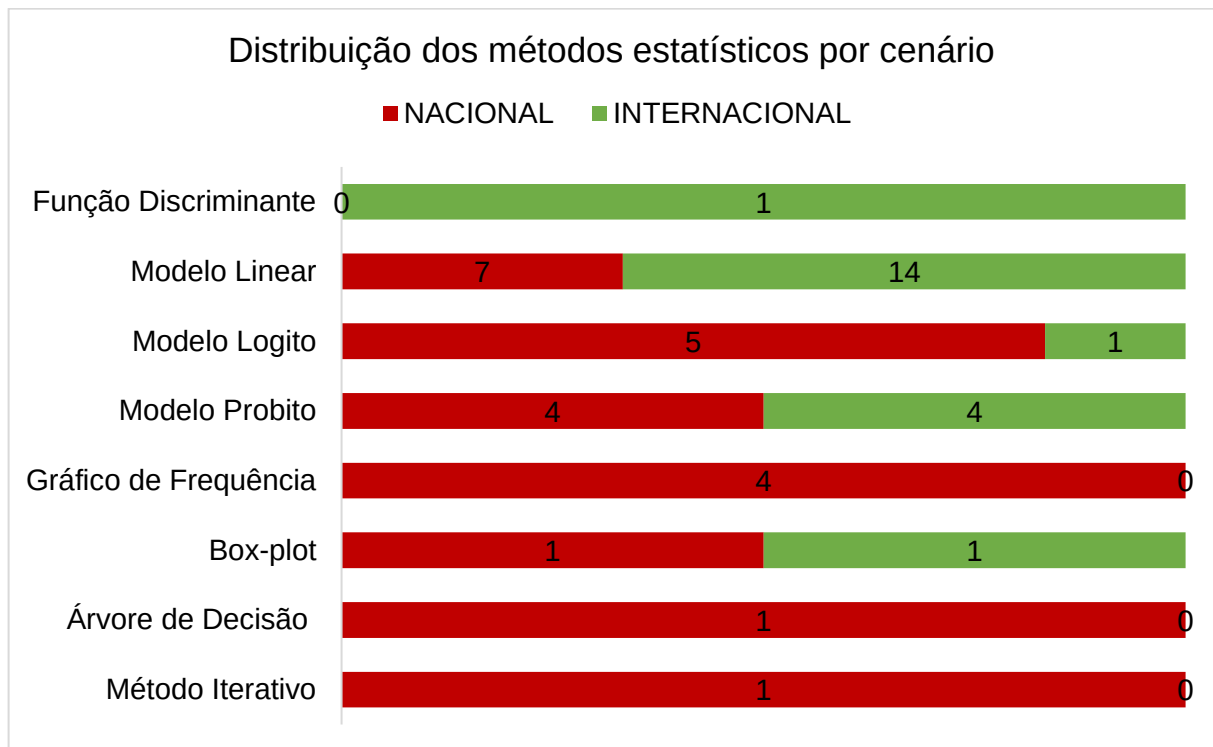
Figura 7 - Quantificação de métodos estatísticos aplicados à calibração dos índices PET e UTCI conforme levantamento bibliográfico.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Dentre os três modelos mais utilizados (linear, logito e probito), verifica-se que, no cenário nacional, os métodos mais utilizados são os modelos logito e probito, enquanto no cenário internacional, o modelo linear é o mais utilizado (Figura 8).

Figura 8 - Distribuição de métodos estatísticos por cenário.

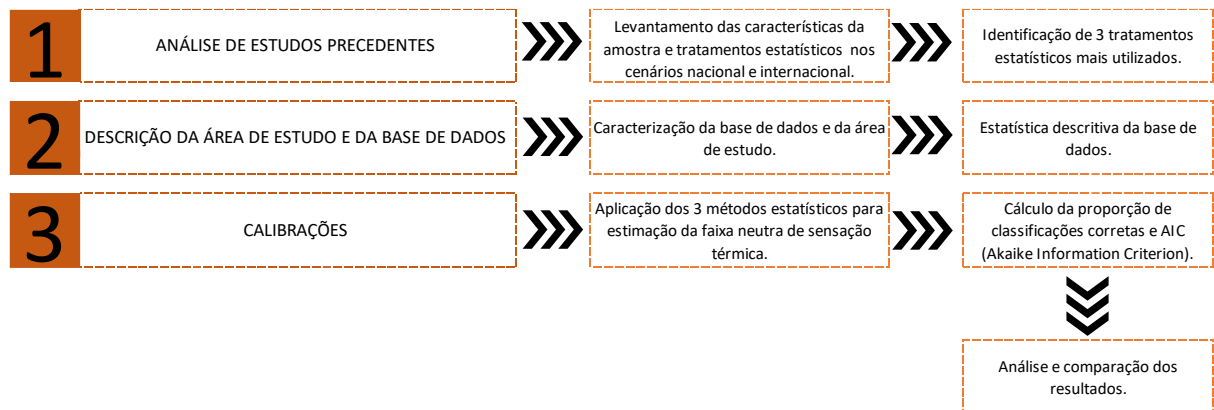


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

3 MATERIAIS E MÉTODO

O método geral utilizado para o desenvolvimento deste estudo foi o método indutivo computacional (simulação de modelos preditivos). O objetivo da indução, segundo Lakatos (1986) é inferir uma verdade geral ou universal em busca de conclusões cujo conteúdo é muito mais amplo do que o das premissas nas quais se basearam. Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi elaborada a descrição dos procedimentos, contemplando 03 (três) diferentes etapas, apresentadas na Figura 9.

Figura 9 - Etapas da metodologia.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

3.1 ANÁLISE DE ESTUDOS PRECEDENTES

Para análise de estudos precedentes buscou-se identificar, por meio de gráficos de barras e de setores (software MS Excel 2010), os autores que mais trabalharam o tema de calibrações de índices PET e UTCI, assim como investigar os locais, climas, índices e métodos estatísticos, com a finalidade de verificar as características de maior frequência nos cenários nacional e internacional.

Buscou-se também comparar as faixas de conforto térmico mais calibradas para os índices PET e UTCI nos estudos precedentes com climas e locais similares, nos cenários nacional e internacional, a fim de verificar a amplitude da faixa de conforto térmico e os métodos utilizados, comparando as calibrações com similaridade no método, índice, clima e escala de percepção térmica.

Os três métodos estatísticos que foram utilizados mais vezes nos estudos precedentes foram determinados por meio de gráficos no software MS Excel 2010. Em seguida, observou-se a frequência dos três métodos nos cenários nacional e internacional. A análise de estudos precedentes foi apresentada na revisão teórica correspondente à seção 2.4 deste trabalho.

3.2 DESCRIÇÃO DA BASE DE DADOS E DA ÁREA DE ESTUDO

Esta seção se baseia em três etapas:

- ✓ ETAPA 1: Caracterização da base de dados;
- ✓ ETAPA 2: Caracterização da área de estudo;
- ✓ ETAPA 3: Estatística descritiva.

Na Etapa 1 foram abordadas as características e distribuições da base de dados em relação aos pontos de medição, às estações do ano, aos pesquisadores que coletaram os dados, ao ano da coleta, aos dias e horários dos levantamentos de campo e à localização do entrevistado (sol/sombra). Em seguida, as variáveis coletadas para calibração e cálculo dos índices, serão descritas de modo a informar a sua faixa de variação e disposição dos dados. Como se trata de base de dados de estudos anteriores, serão brevemente apresentados os equipamentos, medidas e metodologia de medição utilizados nas pesquisas.

Na Etapa 2 serão caracterizadas as áreas de estudo em relação ao município e aos pontos medidos.

Na Etapa 3 será realizada a estatística descritiva da base de dados compreendendo análises gráficas e correlações utilizando os softwares R e MS Excel. Primeiramente, observam-se as frequências das variáveis coletadas de forma qualitativa: sexo biológico, idade, peso, altura e taxa metabólica. Em relação à variável vestimenta, tratada de forma quantitativa, foi gerado um histograma e foram descritas as medidas da estatística descritiva bem como para as variáveis ambientais, que englobam os valores mínimo, 1º quartil, mediana (2º quartil), média, 3º quartil, máximo e desvio padrão. Valores médios das variáveis ambientais em cada dia de medição e por estação do ano também serão apresentados para melhor compreensão do comportamento dos dados quantitativos.

Também serão apresentados os histogramas, as medidas da estatística descritiva, gráfico de dispersão para os índices PET e UTCI, matriz de correlações, as variações e as médias dos índices PET e UTCI para a sensação de conforto (voto correspondente a categoria 0).

Além disso, os índices PET e UTCI, bem como as variáveis utilizadas para cálculo dos índices, serão analisadas por meio da técnica box-plot em relação à sensação térmica dos entrevistados. Para tanto, consideramos o conjunto de dados de todos os pesquisadores como um todo. A Etapa 3 será desenvolvida na seção 4.1 de resultados.

3.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA BASE DE DADOS

A base de dados utilizada neste estudo é formada por 3 conjuntos de dados obtidos em 3 estudos sobre percepção térmica realizados em Belo Horizonte no período entre 2009 e 2019. O primeiro e o segundo destes estudos foram realizados por Hirashima *et al.* (2016, 2018) e o terceiro por Silva (2019). O primeiro foi realizado nos anos de 2009 e 2010, o segundo em 2013 e o terceiro nos anos de 2018 e 2019.

Os tamanhos das amostras utilizadas nestes 3 estudos são respectivamente iguais a 1182, 1693 e 755, totalizando 3630 observações e 8 pontos de medição, englobando todas as estações do ano. Foram considerados, nesta amostra, os entrevistados com tempo de moradia na cidade maior ou igual a 6 meses. O Quadro 8 retrata o total de entrevistados por estação do ano e por ponto de medição.

Quadro 8 - Total de entrevistados por estação e por ponto de medição.

ESTAÇÃO	LOCAIS DE MEDIÇÃO								TOTAL POR ESTAÇÃO
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
	Número de Entrevistados								
Primavera	79	126	0	38	120	0	74	60	497
Verão	60	312	173	73	363	229	66	50	1.326
Outono	0	110	0	0	114	0	0	0	224
Inverno	84	414	195	47	475	244	54	70	1.583
TOTAL POR PONTO	223	962	368	158	1072	473	194	180	3.630

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Para cada participante do estudo foram registrados o dia e horário da medição das variáveis. O horário coletado foi de 06:50 às 18:55 e os dias de coleta por estação e

por ponto de medição estão descritos no Quadro 9. Nesses dias de coleta, as condições climáticas foram estáveis variando entre dias de sol e dias nublados.

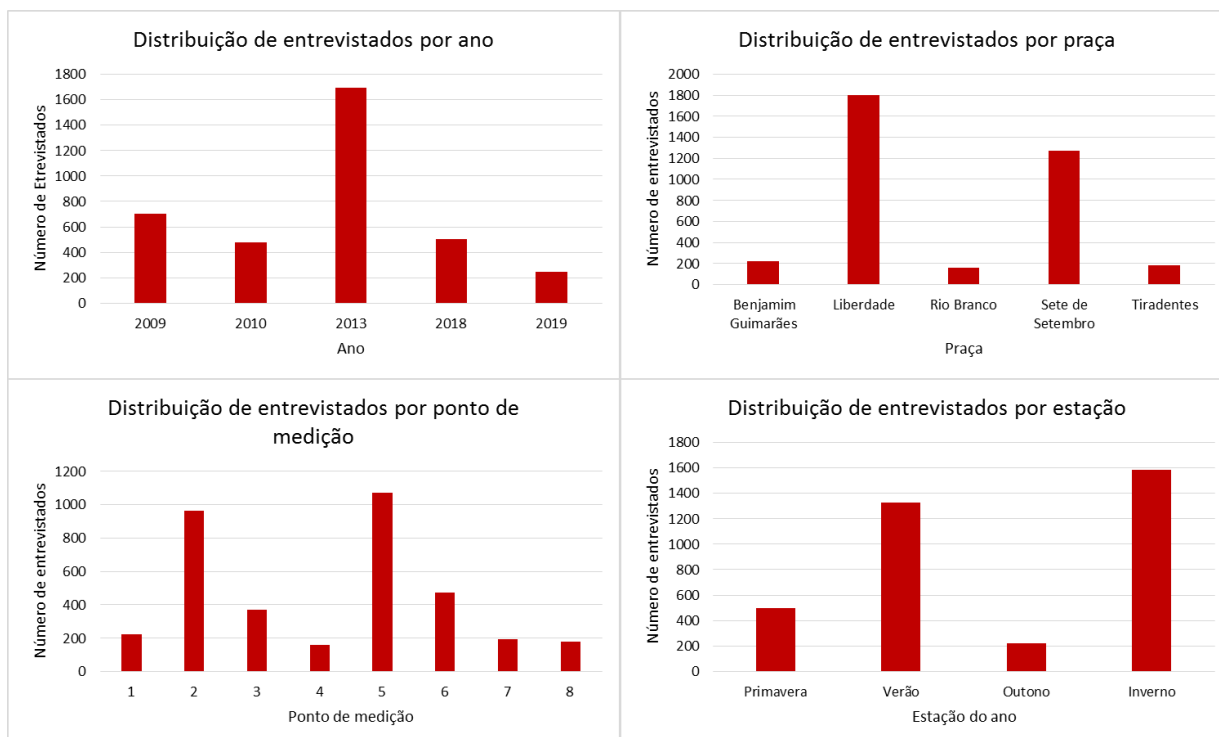
Quadro 9 - Total de entrevistados por estação e por ponto de medição.

ESTAÇÃO	Locais de medição							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
	Período							
Primavera	29/11/2018	15/10/2009	-	13/12/2018	15/10/2009	-	12/12/2018	20/11/2018
Verão	10/01/2019	28/01/2010	11/03/2013	01/01/2019	28/01/2010	13/03/2013	08/01/2018	09/10/2019
Outono	-	22/04/2009	-	-	22/04/2009	-	-	-
Inverno	14/09/2018	22/07/2009, 07/07/2010 e 08/07/2013	08/07/2013	30/08/2018	22/07/2009, 07/07/2010 e 09/07/2013	09/07/2013	31/08/2018	13/09/2018

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Na Figura 10 é apresentada a distribuição das entrevistas segundo as variáveis: ano de coleta, ponto de medição, praça e estação do ano.

Figura 10 - Distribuição das entrevistas por ano, ponto de medição, praça e estação do ano.



Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Além disso, a amostra é caracterizada por 2.794 entrevistas à sombra e 836 entrevistas ao sol.

No Quadro 10 são listadas as variáveis que serão consideradas neste estudo para cálculo dos índices e calibração.

Quadro 10 - Descrição das variáveis da amostra.

Variáveis da Amostra		
Variáveis	Descrição	
Variável Subjetiva		
Percepção de sensação térmica	-3 = Frio	
	-2 = Pouco frio	
	-1 = Leve frio	
	0 = Neutro	
	+1 = Leve calor	
	+2 = Pouco calor	
	+3 = Calor	
Variáveis Individuais		
Vestimenta	0,15 a 3,00 clo	
Taxa metabólica	55 W/m² (sentado)	140 W/m² (caminhando rápido)
	70 W/m² (em pé)	200 W/m² (correndo)
	110 W/m² (caminhando)	
Tempo de exposição ao ambiente externo	< 5 minutos	Entre 15 e 30 minutos
	Entre 5 e 15 minutos	> 30 minutos
Altura	100 a 149 cm	170 a 179 cm
	150 a 159 cm	180 a 189 cm
	160 a 169 cm	190 a 199 cm
Peso	40 a 49 kg	90 a 99 kg
	50 a 59 kg	100 a 109 kg
	60 a 69 kg	110 a 119 kg
	70 a 79 kg	120 a 129 kg
	80 a 89 kg	
Idade	20 a 29 anos	50 a 59 anos
	30 a 39 anos	60 a 69 anos
	40 a 49 anos	70 a 79 anos
Sexo biológico	Feminino ou Masculino	
Variáveis Ambientais		
Temperatura radiante média	15,4 a 75,0 °C	
Temperatura do ar	15,1 a 35,3 °C	
Temperatura de globo	14,4 a 62,98 °C	
Umidade relativa	28,5 a 81,00 %	
Velocidade do vento	0 a 9,89 m/s	
Índices de Conforto Térmico		
PET	11,5 a 44,8 °C	
UTCI	14,2 a 39,9 °C	

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

As variáveis ambientais foram monitoradas de forma simultânea à aplicação dos questionários sobre as características pessoais dos entrevistados e suas percepções. Conforme mencionado no capítulo 2.2, para o índice PET, as variáveis ambientais são coletadas por meio da utilização de instrumentos de medição, com exceção da temperatura radiante média que é calculada por meio da utilização de equação específica. Enquanto para o índice UTCI, as variáveis ambientais são coletadas por meio da utilização de instrumentos de medição, com exceção da temperatura radiante média e velocidade do vento, que são calculados por meio da utilização de equações específicas, dispostas no capítulo 2.2. Os sensores de temperatura do ar, velocidade do ar e umidade relativa foram fixados em um tripé na altura de 110 cm, conforme a ISO 7726 (1998), para ambos os estudos.

A umidade relativa, temperatura do ar e velocidade do ar foram obtidos por meio dos equipamentos: Data Logger de umidade/temperatura e Anemômetro, respectivamente. Os instrumentos foram calibrados seguindo as especificações da norma ISO 7726 (1998). A marca e modelo dos equipamentos, bem como sua calibração foram especificados nos estudos de Hirashima *et al.* (2016, 2018) e Silva (2019).

O questionário referente à variável subjetiva baseia-se na ISO 10551 (1995), mencionada no tópico 2.3.1. Os entrevistados responderam à pergunta principal da calibração neste estudo (variável dependente): “Como está se sentindo agora?”. A variável dependente é categórica ordinal, denominada “percepção de sensação térmica”, medida em sete diferentes intervalos (-3 a +3).

Foram obtidas por meio de questionário também, as informações sobre características demográficas e fisiológicas, sobre as vestimentas usadas no instante da entrevista, o tipo de atividade física realizada no instante anterior à entrevista, e o tempo de permanência em ambiente externo.

Os valores de PET e UTCI foram recalculados de modo a garantir a uniformidade do método de cálculo.

O índice PET foi calculado através do software Rayman Pro 2.3 beta, um software de domínio público. Na interface do programa indicou-se o índice que será analisado (PET). Os dados de entrada, inseridos em arquivos de texto e separados por tabulação “.txt”, foram descritos no Quadro 11. É importante reforçar que a taxa metabólica está embutida no modelo MEMI, presente no respectivo software.

Quadro 11 – Dados de entrada para cálculo do índice PET.

PET	
Variável	Código
Temperatura do ar	Ta
Umidade relativa	RH
Velocidade do ar	v
Temperatura radiante média	Tmrt

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O índice UTCI foi calculado por meio do software e BIOKLIMA® 2.6, um software de domínio público. Os dados de entrada foram salvos em arquivos de texto separados por tabulação “.txt”, foram descritos no Quadro 12.

Quadro 12 – Dados de entrada para cálculo do índice UTCI.

UTCI	
Variável	Código
Temperatura do ar	t
Umidade relativa	f
Velocidade do ar	v10m
Temperatura radiante média	Mrt
Sexo biológico	sex
Calor metabólico	M
Isolamento de vestuário	lcl

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

3.2.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.2.2.1 DESCRIÇÃO DO MUNICÍPIO

O município de Belo Horizonte localiza-se na região centro-sul do estado de Minas Gerais (Brasil), sendo a 6ª (sexta) cidade mais populosa do Brasil, com densidade

demográfica de 7.167 habitantes/km². Abrange uma área de 331,354 km² e possui uma população de 2.521.564 habitantes. Estão presentes os biomas de Cerrado e Mata Atlântica no município de Belo Horizonte (IBGE, 2021).

Devido à sua localização geográfica, a região metropolitana de Belo Horizonte, capital mineira, sofre influência de fenômenos meteorológicos de latitudes médias e tropicais que imprimem a esta localidade características de um clima de transição. Duas estações bem definidas podem ser identificadas: uma seca, durante o outono e inverno, e outra chuvosa, que se estende de outubro a março (LUCIO, TOSCANO, ABREU, 1999).

As Normais Climatológicas 1981-2010 do Instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (INMET, BRASIL, 2021) descrevem uma média de temperatura compensada anual em Belo Horizonte de 23,53°C, umidade relativa do ar compensada anual de 74,2%, precipitação anual acumulada de 1441,70mm, insolação total anual de 2349,40h, pressão atmosférica ao nível do barômetro anual 969,10Pa, intensidade do vento anual de 2,4m/s e nebulosidade anual de 0,5 décimos.

3.2.2.2 DESCRIÇÃO DAS PRAÇAS E PONTOS DE MEDIÇÃO

A área de estudo é composta por cinco praças na região central de Belo Horizonte e 8 (oito) pontos de medição. As praças estão situadas entre cruzamentos de vias bastante movimentadas (Quadro 13). Ambos os locais apresentam grande fluxo de pedestres e automóveis.

Quadro 13 - Descrição (Nome e Localização) das áreas de estudo.

Nome	Endereço
Praça Benjamim Guimarães (Praça ABC)	Cruzamento entre as Avenidas Afonso Penas e Getúlio Vargas
Praça da Liberdade	Cruzamento entre as Avenidas Bias Fortes, Brasil e início da Avenida João Pinheiro
Praça Rio Branco (Praça da Rodoviária)	Cruzamento entre as Ruas Curitiba e dos Caetés. Início da Avenida Afonso Pena.
Praça Sete de Setembro	Cruzamento entre as Avenidas Afonso Pena e Amazonas
Praça Tiradentes	Cruzamento entre as Avenidas Afonso Pena e Brasil

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Na Figura 11 observa-se a localização dos pontos via imagem satélite.

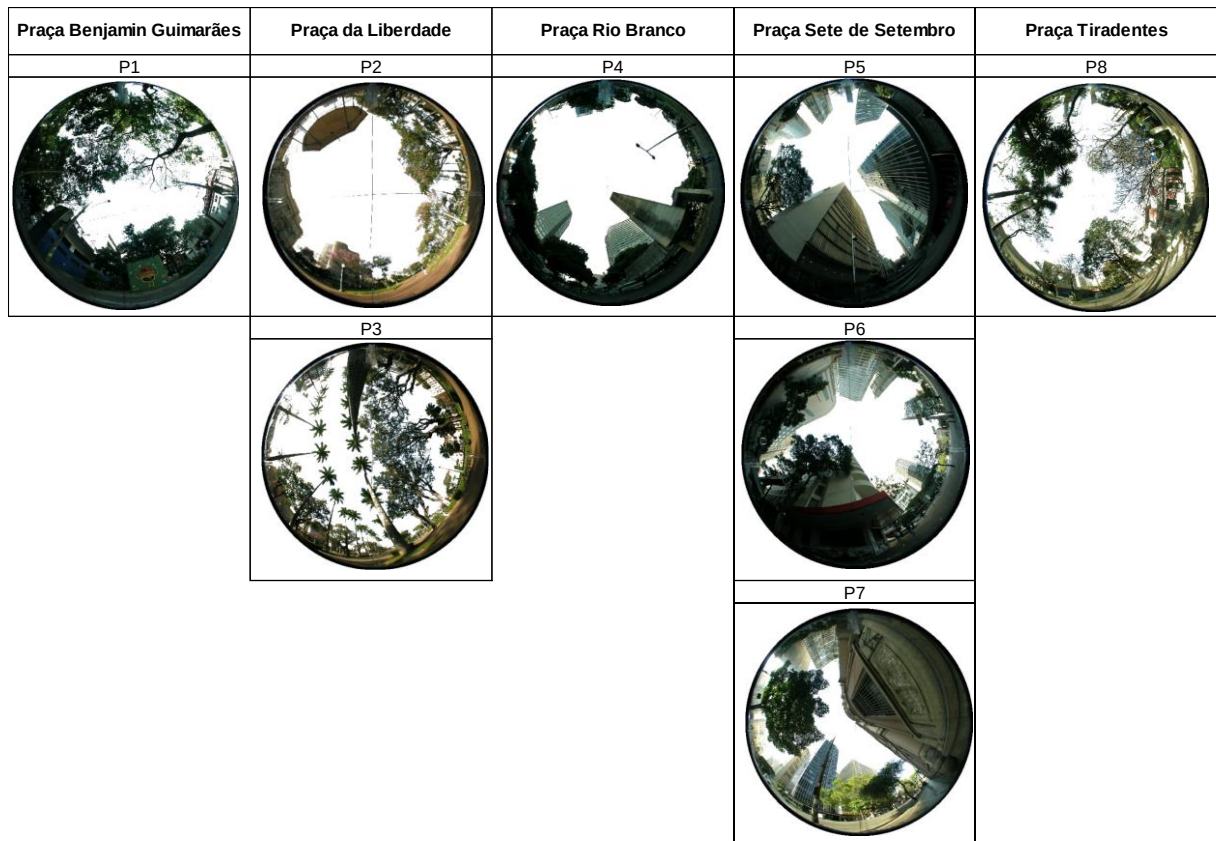
Figura 11 - Imagem satélite referente à localização dos pontos de medição.



Fonte: Google Earth (2021).

Os 8 (oito) pontos de medição são apresentados na Figura 12 em imagens olho de peixe. Na praça da Liberdade e na praça Sete de Setembro há mais de um ponto de medição.

Figura 12 - Imagens olho de peixe dos pontos medidos.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O ponto P1 (Praça Benjamim Guimarães) apresenta entorno com edificações baixas (de até dois pavimentos), vegetação densa e aglomerada, o que proporciona grande área de sombreamento sobre o local de passagem dos pedestres. O piso é em pedra portuguesa e intertravado de pedra basáltica.

Os pontos P2 e P3 (Praça da Liberdade) constituem áreas menos verticalizadas, com muita área verde e fontes de água. O piso é composto por blocos intertravados de pedra basáltica e calçamento de cimento e brita com juntas de ripas de madeira.

O ponto P4 (Praça Rio Branco) apresenta entorno de edificações altas (com mais de vinte pavimentos) e algumas vegetações rasteiras, tipo grama. O piso é constituído por pedra basáltica tipo ardósia e intertravado de concreto aparente.

Os pontos P5, P6 e P7 (Praça Sete de Setembro) apresenta entorno com edificações altas e escassa presença de vegetação. O piso é constituído por concreto armado aparente.

O ponto P8 (Praça Tiradentes) possui entorno com vegetações difusas e parcialmente isoladas. O piso é constituído por pedra portuguesa com três tonalidades, branca, preta e vermelha.

3.3 CALIBRAÇÕES

A calibração pode ser vista como um problema de comparação de dois ou mais sistemas de medição. No caso dos estudos sobre conforto térmico em espaços abertos, há dois sistemas de medição envolvidos: a sensação térmica declarada pelo entrevistado e a sensação térmica medida pelo índice termo fisiológico PET e/ou UTCI.

A calibração é realizada por meio do ajuste de modelos estatísticos de regressão que relacionam esses dois sistemas de medição citados. Os modelos estatísticos de regressão são funções matemáticas que descrevem como a média da variável resposta muda de acordo com o valor de uma ou mais variáveis explicativas.

Como resultado do processo de calibração obtém-se os intervalos do índice termo fisiológico de interesse, correspondentes a cada categoria da escala de percepção térmica. HIRASHIMA *et al.* (2016, 2018) e SILVA (2019) coletaram as respostas sobre a percepção térmica com base em escala bipolar simétrica de 7 pontos ou categorias, variando de -3 (Frio) a +3 (Calor). Neste estudo, buscou-se analisar, especificamente, a faixa neutra de sensação térmica, isto é, a faixa de valores do índice correspondentes à categoria 0 (Neutro, ou nem frio nem calor) de sensação ou percepção térmica. Dessa forma, foram considerados confortáveis termicamente os usuários que votaram 0 (neutro).

Na revisão de literatura vista na seção 2.4, verificam-se duas abordagens estatísticas frequentemente utilizadas na construção dos modelos de calibração dos índices termo fisiológicos PET e/ou UTCI. A primeira delas consiste no ajuste de modelos de regressão para as escores de sensação térmica, que inclui modelos lineares simples, polinomiais e modelos não lineares. A segunda consiste no ajuste de modelos de regressão ordinal para variável categórica sensação térmica, que inclui os modelos

logito e probito para probabilidades cumulativas. As duas abordagens são conceituadas nos tópicos a seguir.

3.3.1 MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS ESCORES DE SENSAÇÃO TÉRMICA

Denotando por Y , o valor do escore de sensação térmica do entrevistado, e por x , o índice de conforto térmico medido no momento da entrevista, o modelo de regressão relaciona Y e x através da equação:

$$Y = E(Y|x) + \epsilon \quad (1)$$

onde:

$E(Y|x)$ é o valor médio do escore de sensação térmica para um dado valor de x , e, ϵ é o erro aleatório que expressa o desvio do escore de sensação térmica do entrevistado em relação ao seu valor médio.

O valor médio do escore de sensação térmica é expresso como uma função linear de x :

$$E(Y|x) = \beta_0 + \beta_1 x \quad (2)$$

onde:

β_0 e β_1 são os parâmetros do modelo;

x é a variável independente

Quando a relação entre Y e x não for linear, modelos lineares polinomiais ou modelos não lineares podem ser utilizados para descrevê-la. Um modelo polinomial de ordem p é descrito pela equação:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 x^2 \dots + \beta_p x^p + \epsilon \quad (3)$$

Neste modelo, x ocorre em potências de primeiro grau ($x = x^1$) a p grau (x^p). Para $p = 1$, tem-se a função linear $E(Y|x) = \beta_0 + \beta_1 x$. O índice p , a maior potência na equação polinomial, é chamado de grau da função polinomial.

Por sua vez, os modelos não lineares são expressos como:

$$Y = g(\beta, p) + \epsilon \quad (4)$$

Neste modelo, $g(\beta, p)$ é uma função linear do vetor de parâmetros β e, ϵ é o erro aleatório.

Como o modelo linear aplicado à base de dados em estudo, que será apresentado na seção 3, mostrou-se inadequado para descrever a relação entre os escores de sensação térmica e cada um dos índices térmicos de interesse, optou-se pelo ajuste de modelos não lineares logísticos de 4 parâmetros, que descreve a relação entre Y e x através de uma curva sigmoide. Para este modelo, $g(\beta, p)$ é descrita pela equação:

$$f(x_i; A_1, A_2, C, B) = A_1 + \frac{(A_2 - A_1)}{1 + e^{(C - x_i)/B}} \quad (5)$$

onde A_1 é a assíntota inferior, A_2 é a assíntota superior, C é o ponto de inflexão da curva e, B é o parâmetro de escala e seu inverso é a taxa de crescimento da curva em torno do ponto de inflexão.

Ao estimar o modelo de regressão para as categorias de sensação térmica, alguns autores trabalham com os dados individuais de cada entrevistado e outros utilizam dados agregados. Com dados agregados, os valores do índice termo fisiológico são estratificados em intervalos, e para cada intervalo são calculados os valores médios do índice e também dos escores correspondentes. Os dados médios de avaliação de sensação térmica por categoria são considerados como variável dependente ou resposta e, os dados médios de avaliação de sensação térmica por índice de interesse são considerados como variável preditora, explicativa ou independente. Neste caso, no processo de estimação do modelo, as contribuições agregadas devem ser ponderadas pelo número de observações individuais usadas no seu cálculo.

Os modelos de regressão não lineares foram ajustados pelo método de mínimos quadrados, utilizando a função *nls* do pacote *stats* do software *R*.

Ajustado o modelo de regressão para as categorias de sensação térmica, as faixas dos índices de conforto térmico correspondentes a cada categoria de sensação térmica foram obtidas usando o procedimento descrito a seguir, que tem sido utilizado por vários autores, dentre eles Pantavou *et al.* (2014), Krüger *et al.* (2018; 2020).

Embora a sensação térmica assuma valores numa escala discreta, o modelo ajustado pressupõe que o escore de sensação térmica é uma variável aleatória contínua. Admite-se, assim, que um valor “u” na escala discreta corresponde a um valor entre $u - 0,5$ e $u + 0,5$ na escala contínua. Por exemplo, um escore ou categoria igual a 0 na escala discreta, corresponde a um valor entre $-0,5$ e $+0,5$ na escala contínua.

Para um modelo de regressão ajustado, a faixa de valores do índice correspondente à sensação térmica u , é verificada como o intervalo dos valores do índice, x , que resulta em valores preditos de Y entre $u - 0,5$ e $u + 0,5$. Para este estudo, a faixa neutra de sensação térmica é dada pelo intervalo de valores do índice x , para os quais os valores preditos dos escores de sensação térmica estão entre $-0,5$ e $+0,5$. Além disso, identificou-se o valor do índice quando a sensação térmica é neutra (voto correspondente à categoria 0).

3.3.2 MODELOS LOGITO E PROBITO PARA AS CATEGORIAS DE SENSACÃO TÉRMICA

A classe de modelos ordinais para variáveis categóricas inclui os modelos de regressão ordinal para probabilidades cumulativas, que por sua vez inclui os modelos logito e probito, usados frequentemente na literatura de conforto térmico. Nesta seção apresenta-se uma breve descrição dos modelos cumulativos com ênfase nos modelos logito e probito.

Quando uma variável categórica assume apenas 2 categorias, como frio ou calor, confortável ou desconfortável, ela é chamada de variável categórica dicotômica.

Quando ela assume mais de 2 categorias ela é chamada de politômica, e quando existe um ordenamento natural entre estas categorias ela é chamada de politômica ordinal. Este é o caso da variável sensação térmica, medida pelas categorias frio, pouco frio, leve frio, neutro, leve calor, pouco calor e calor.

Para a classe de modelos ordinais, vamos denotar por Y_i a variável categórica ordinal, assumindo o valor j se a observação do i -ésimo pertencer à j -ésima categoria ordenada, com $j = 1, \dots, J$. No problema em estudo, Y_i representa a sensação térmica para o i -ésimo entrevistado, que assume o valor 1 para a categoria de sensação térmica frio, 2 para pouco frio, 3 para leve frio, 4 para neutro, 5 para leve calor, 6 para pouco calor e 7 para calor, totalizando 7 categorias.

Seja π_{ij} a probabilidade do indivíduo i pertencer à categoria j da variável resposta, a probabilidade cumulativa de que o indivíduo pertença a uma categoria igual ou inferior a j é expresso por $P(Y_{ij} \leq j) = \gamma_{i1} + \gamma_{i2} + \dots + \gamma_{ij}$. A classe de modelos cumulativos assume que a probabilidade cumulativa transformada, $g(P(Y_{ij} \leq j))$, é uma função linear de uma ou mais variáveis preditoras, da forma:

$$g(P(Y_{ij} \leq j)) = \theta_j + x_i^T \beta, \text{ para } j = 1, \dots, J \quad (6)$$

Nesta formulação, θ_j representa o valor basal da probabilidade cumulativa transformada para a categoria j da variável resposta e β representa o efeito das covariáveis, representadas pelo vetor x_i^T sobre as probabilidades cumulativas transformadas.

Estes modelos podem ser interpretados em termos de uma variável latente, isto é, uma variável contínua não observável subjacente à variável categórica observável. Considera-se que as categorias da variável resposta Y_i resultam da categorização da variável contínua latente Y_i^* , utilizando pontos de corte $\theta_1 < \theta_2 < \dots < \theta_{J-1}$.

Considera-se que a relação entre Y_i^* e as variáveis preditoras é descrita pelo modelo linear: $Y_i^* = x_i^T \beta^* + \varepsilon_i$. Os erros aleatórios ε_i , para $i=1, \dots, n$, têm distribuição de

probabilidade com função distribuição acumulada $F(\varepsilon_i)$, e o vetor de parâmetros β^* não inclui o intercepto.

A probabilidade de que a resposta do i -ésimo indivíduo pertença a uma categoria da variável resposta menor ou igual a j , dados os valores das covariáveis, x_i , pode ser escrita como:

$$P(Y_{ij} \leq j) = P(Y_{ij}^* \leq \theta_j) = P(\varepsilon_i \leq \theta_j - x_i^T \beta^*) = F(\theta_j - x_i^T \beta^*) \quad (7)$$

A equação (7) pode ser rescrita na forma da equação (6), como:

$$g(P(Y_{ij} \leq j)) = F^{-1}(P(Y_{ij} \leq j)) = \theta_j - x_i^T \beta^* \quad (8)$$

onde a função $g(\cdot)$ é a função inversa da função distribuição acumulada do erro aleatório ε_i , em que β^* aparece com sinal negativo, diferente do observado na equação (6).

O modelo logito trata-se de um caso particular do modelo da equação 6, onde a função $g(\cdot)$ e a função logito é:

$$\log\left(\frac{P(Y_{ij} \leq j)}{1 - P(Y_{ij} \leq j)}\right) = \theta_j + x_i^T \beta, \text{ para } j = 1, \dots, J \quad (9)$$

Aplicando a função exponencial para ambos os lados da equação, pode-se descrever a função como:

$$\frac{P(Y_{ij} \leq j)}{1 - P(Y_{ij} \leq j)} = e^{\theta_j + x_i^T \beta}, \text{ para } j = 1, \dots, J. \quad (10)$$

O modelo logístico ordinal pode ser visto como uma extensão, para o caso de variáveis categóricas ordinais, do modelo logístico clássico para variáveis binárias. Ele também pode ser obtido utilizando a formulação de variáveis latentes, apresentada

anteriormente, considerando que os erros aleatórios ε_i seguem uma distribuição logística padrão.

O modelo probito é outro caso particular do modelo para probabilidades cumulativas, quando a função g é a função inversa da distribuição acumulada da distribuição normal padrão, Φ^{-1} :

$$\Phi^{-1} \left(\frac{P(Y_{ij} \leq j)}{1 - P(Y_{ij} \leq j)} \right) = \theta_j + x_i^T \beta, \text{ para } j = 1, \dots, J \quad (11)$$

Na formulação em termos da variável latente, o modelo probito é obtido quando se assume que os erros aleatórios ε_i seguem uma distribuição normal padrão. Devido às similaridades entre as distribuições logística padrão e normal padrão, quando um o modelo logístico apresenta bom ajuste, é esperado que o mesmo ocorra com o modelo probito e vice versa. A escolha entre utilizar um ou outro é definida em função da interpretação dos parâmetros. No caso do modelo logístico a interpretação dos parâmetros é realizada em termos das chances dos eventos $Y_{ij} \leq j$, enquanto no modelo probito ela é realizada em termos da variável latente Y^* .

Os modelos cumulativos são chamados de proporcionais ou paralelos quando o parâmetro β é o mesmo para todo j . A hipótese de proporcionalidade pode ser testada através do teste da razão de verossimilhanças. Com modelos cumulativos, quando o pressuposto de proporcionalidade é válido, é esperado que a agregação de categorias tenha pouco impacto sobre as estimativas dos parâmetros do modelo.

Os parâmetros dos modelos cumulativos logito e probito são estimados pelo método da máxima verossimilhança. Neste estudo, utilizou-se o pacote ordinal do software R para o ajuste destes modelos aos dados de sensação térmica. A adequação da hipótese de proporcionalidade foi avaliada através do teste da razão de verossimilhança, utilizando a função *nominal.test* disponível neste pacote.

Após o ajuste do modelo de regressão ordinal, a predição da faixa neutral de sensação térmica é realizada em função das probabilidades estimadas das categorias. Um

indivíduo é classificado na categoria que apresenta maior probabilidade estimada de ocorrência.

As seções a seguir descrevem como foram desenvolvidas as calibrações dos índices termo fisiológicos de interesse. Dois métodos diferentes foram aplicados na base de dados em estudo. O primeiro método (Método 1) baseia-se nas probabilidades estimadas para cada categoria de resposta e o segundo método (Método 2) fundamenta-se nas estimativas das probabilidades cumulativas para cada categoria de resposta.

3.3.2.1 MÉTODO 1

A faixa de valores do índice térmico fisiológico, correspondente à categoria j de sensação térmica, é dada pelo intervalo de valores deste índice no qual as probabilidades estimadas de resposta da categoria j supera individualmente as probabilidades de cada uma das demais categorias. Este método foi utilizado por Hirashima (2010), Lai *et al.* (2014), Hirashima *et al.* (2018), Silva (2019) e Krüger *et al.* (2020). Os limites desta faixa foram obtidos resolvendo numericamente, em x , a equação $P(\hat{Y} = 0) > \max_{j, j \neq 0} P(\hat{Y} = j)$, onde $P(\hat{Y} = j)$ é a probabilidade estimada para a ocorrência da categoria j . Para isto foi utilizada a função UNIROOT do pacote STATS do software R.

3.3.2.2 MÉTODO 2

Este método foi proposto por Ballantyne *et al.* (1977) e é conhecido na literatura de conforto térmico como método probito ou método de Ballantyne. Este método utiliza um critério de classificação dicotômico, baseado nas estimativas das probabilidades cumulativas. Segundo este método, o valor do índice termo fisiológico onde ocorre a transição entre as categoria j e $j + 1$ de sensação térmica é aquele onde a $P(Y \geq j + 1)$ supera $P(Y \leq j)$, ou equivalentemente quando $P(Y \geq j + 1)$ supera o valor 0,5. Por exemplo, a transição da categoria pouco frio para neutro acontece quando a probabilidade da sensação térmica de um indivíduo ser classificada como neutra ou mais quente do que neutro é maior do que a probabilidade de ser classificado como

mais frio do que neutro. Embora o método proposto por Ballantyne *et al.* (1977) seja chamado na literatura de conforto térmico de método probito, ele pode ser aplicado quando as probabilidades cumulativas estimadas através de outros modelos ordinais. Ele também pode ser usado quando vários modelos dicotômicos são ajustados separadamente, tendo como variável resposta a variável indicadora de sucesso, onde sucesso acontece se $Y \leq j$, situação considerada por Ballantyne *et al.* (1977).

Com modelos logito e probito, a transição da categoria j para $j + 1$ ocorre no ponto $t_j = -a_j/b_j$. Com modelos proporcionais, onde $b_j = b$ para $j = 1, \dots, J$, temos que $t_j \leq t_{j+1}$, mas isto pode não acontecer com modelos não proporcionais.

O segundo método, devido à sua natureza dicotômica produz resultados comparáveis para a faixa neutra de sensação térmica independentemente do número de categorias utilizadas para o ajuste do modelo. Por outro lado, as faixas neutras de sensação térmica obtidas pelo método 1 são dependentes do número de categorias de sensação térmica utilizadas para ajuste do modelo. Por exemplo, para um modelo com 7 categorias, uma resposta é classificada como neutra quando a probabilidade estimada desta categoria é superior a cada uma das probabilidades das demais categorias. Enquanto para um modelo com 3 categorias (frio, neutra, calor), uma resposta é classificada como neutra quando a probabilidade estimada desta categoria é maior do que a soma das 3 probabilidades que compõem a categoria frio e também superior à soma das 3 probabilidades que compõem a categoria calor. Na seção de resultados, apresentaram-se os resultados obtidos a partir do ajuste dos modelos com 3, 5 e 7 categorias de sensação térmica.

3.3.3 COMPARAÇÃO DOS MODELOS DE CALIBRAÇÃO

Para comparação dos modelos de calibração ajustados para as variáveis preditoras PET, UTCI e T_a , foi considerada a métrica proporção de classificações corretas. Quanto maior a proporção de classificações corretas, melhor a capacidade preditiva do modelo. Para o cálculo desta medida, no caso do modelo não linear ajustado para os escores de sensação térmica, um indivíduo foi classificado na categoria j quando o valor predito pelo modelo para o escore de sensação térmica está entre $u_j - 0,5$ e $u_j + 0,5$, com exceção das categorias nas extremidades da escala ordenada.

Para comparação entre modelos probito e logito com mesma variável resposta utilizou-se também o critério AIC (Akaike Information Criterion), dado por $AIC = 2k - 2\ln(\hat{L})$, onde K é o número de parâmetros estimados e, $\hat{L}$ é o valor máximo estimado da função de verossimilhança do modelo. Segundo este critério, quanto menor o valor de AIC melhor é a qualidade do ajuste do modelo.

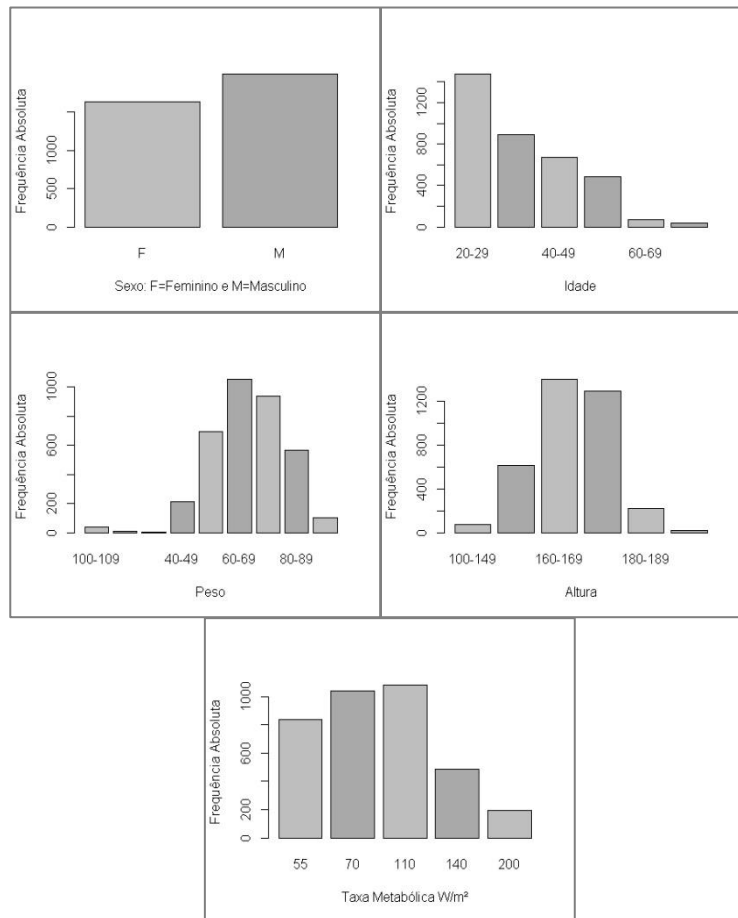
4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DA BASE DE DADOS

Do total de 3.630 entrevistas válidas, consideradas neste estudo, as maiores frequências de observações foram registradas no ano de 2013, nas estações verão e inverno, nas praças da Liberdade e Sete de Setembro, nos pontos P5 (Praça Sete de Setembro) e P2 (Praça da Liberdade).

Em relação às características individuais categóricas (Figura 13), a amostra contém maior número de entrevistados do sexo biológico masculino, faixa etária entre 20 e 29 anos, altura entre 160 e 169 cm, peso entre 60 e 69 kg. As taxas metabólicas de 110 W/m² (caminhando) e de 70 W/m² (em pé) foram predominantes neste estudo.

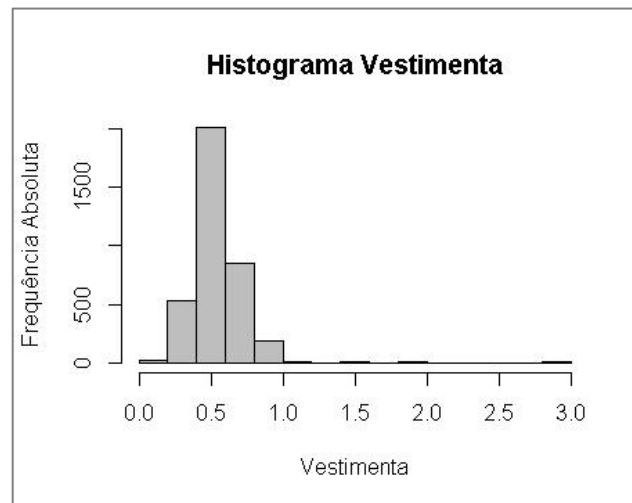
Figura 13 - Distribuição por sexo biológico, idade, peso, altura e taxa metabólica.



Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Em relação à característica individual vestimenta (Figura 14 e Quadro 14), tratada de forma quantitativa, a vestimenta com resistência térmica próxima de 0,5 clo foi mais genérica na amostra em estudo, que representa uma vestimenta característica da estação verão. O valor máximo apontado de 3,0 clo pode ter sido um erro no processo de coleta, uma vez que roupas com maiores resistências térmicas geralmente não são muito utilizadas em clima tropical. Este valor foi registrado 5 (cinco) vezes na estação inverno, à sombra, com temperatura radiante média entre 20,7 e 23,8°C, nos pontos de medição P3 (Praça da Liberdade), P5 e P6 (Praça Sete de Setembro).

Figura 14 - Distribuição por vestimenta.



Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Quadro 14 - Estatística descritiva da variável quantitativa individual.

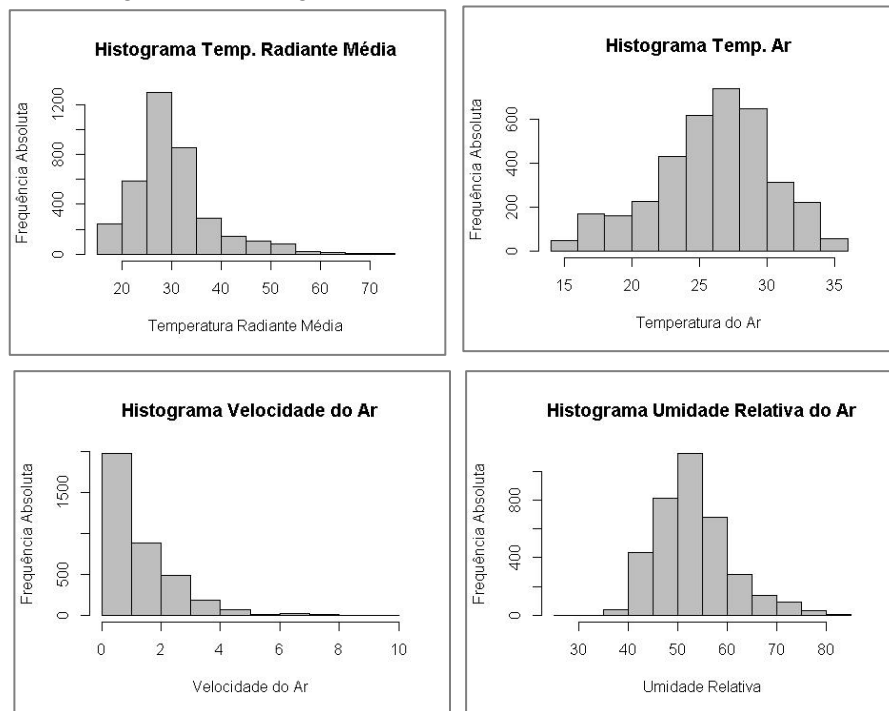
Variável	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão
Vestimenta	0,15	0,5	0,5	0,5615	0,69	3,00	0,21

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

O tempo de exposição é considerado um fator que influi indiretamente no resultado da calibração. O presente estudo adotou 4 categorias de tempo de exposição: (menos de 5 minutos, entre 5 e 30 minutos, entre 15 e 30 minutos, mais de 30 minutos). Do total de entrevistados, 88% (3.194 pessoas entrevistadas) estavam em tempo de exposição maior que 30 minutos. Neste estudo foram consideradas todas as 4 categorias de tempo de exposição, apesar de alguns estudos como os de Krüger *et al.* (2017) recomendarem adotar um mínimo de 30 minutos como tempo de exposição, para fins de definição de faixas de conforto e desconforto térmico em espaços abertos.

Na Figura 15 são apresentados os histogramas e no Quadro 15 algumas medidas descritivas das características ambientais.

Figura 15 - Histograma das variáveis ambientais da amostra.



Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Quadro 15 - Estatística descritiva das variáveis ambientais da amostra.

Variável	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão
Velocidade do ar	0,00	0,00	0,73	1,15	1,80	9,89	1,26
Temperatura do ar	15,10	23,60	26,70	26,11	29,20	35,30	4,28
Umidade relativa	28,50	47,90	52,40	53,04	56,50	81,00	7,36
Temperatura radiante média	15,39	25,40	29,20	30,30	33,10	75,00	8,13

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Pode-se observar que as condições ambientais durante a coleta de dados caracterizam-se por baixa velocidade do ar, com maior frequência de valores iguais zero. A média da velocidade do ar nesta base de dados foi de 1,15m/s, apresentando um valor menor que a velocidade do vento anual média obtida das Normais Climatológicas 1981-2010 de Belo Horizonte, que foi de 2,4m/s. Essa heterogeneidade está associada à altura em que foi medida a velocidade do vento. Os dados das Normais Climatológicas, segundo a Nota Técnica do Instituto Nacional de Meteorologia nº 001/2011, são coletados por estações meteorológicas, e a intensidade do vento é medida por um sensor instalado numa estação a 10 m de altura. Enquanto na amostra em estudo, a velocidade do ar foi medida na altura de

1,10 m, conforme ISO 7726 (1998) para cálculo do índice PET. Para o índice UTCI foi utilizado a fórmula da velocidade do ar a 1,10m de altura exposto na seção 2.2 e, sua média foi de 1,57 m/s, representando também um valor menor que a velocidade do vento anual média obtida das Normais Climatológicas 1981-2010 de Belo Horizonte.

Quanto à temperatura do ar, 50% das entrevistas foram realizadas com temperatura do ar acima de 26,7°C, e embora 43,6% das entrevistas tenham sido realizadas no inverno, a distribuição mostrou-se assimétrica à esquerda, com maior frequência de temperaturas mais altas. A temperatura do ar média da amostra em estudo foi de 26,11°C, enquanto a temperatura compensada anual média das Normais Climatológicas 1981-2010 de Belo Horizonte foi de 23,53°C.

A distribuição da temperatura radiante média é assimétrica à direita, apresentado alguns valores acima de 70°C, com o valor máximo de 75°C sendo registrado 4 vezes na estação inverno, ao sol, com temperatura do ar medida entre 19,9 e 23,7°C e pontos de medição P2 (Praça da Liberdade) e P4 (Praça Rio Branco). Nesse contexto, presume-se que alguns destes valores possam ser resultado de registro incorreto, no entanto, esses valores foram mantidos na base de dados em estudo.

Em relação à umidade relativa do ar, verifica-se pelo histograma que houve poucos dados abaixo de 40%. Desse modo, a amostra em estudo retratou menores observações sobre a estação seca, de baixa umidade relativa do ar de Belo Horizonte.

De acordo com Lucio, Toscano e Abreu (1999) a estação seca ocorre durante o outono e inverno. A maioria dos dados da amostra está presente na estação inverno e mesmo assim, a umidade relativa do ar apresentou maiores porcentagens de umidade relativa do ar, fato este que pode ter sido influenciado pelo horário da medição, pois se observou que no início da manhã, durante o inverno, a temperatura do ar foi menor, enquanto a umidade relativa do ar foi maior. Durante a tarde (após o meio dia – 12:00) observou-se que a temperatura do ar foi mais elevada e a umidade relativa do ar registrou menores valores em relação ao período da manhã.

No Quadro 16 os valores médios das variáveis ambientais em cada dia de medição e por estação do ano são identificados. Destaca-se que nos dias 30/08/2018 e

07/01/2019, a temperatura radiante média (t_r) atingiu maior amplitude térmica, (75,0°C e 70,0°C, respectivamente), confirmando o efeito de maior desvio padrão. A temperatura do ar (T_a) média no inverno foi menor que 23° C, enquanto o T_a nas outras estações foi maior que 26°C. A temperatura radiante média (t_r) no inverno foi menor que 28°C, enquanto a t_r nas outras estações foi maior que 29°C. A umidade relativa média das estações variou entre 48,9 e 54,9%, sendo a menor média constatada no outono e maior média constatada no inverno. A velocidade média do vento variou entre 0,8 e 1,5 m/s. Esses dados caracterizam o clima local como quente no verão e ameno no inverno com umidade moderada em todas as estações.

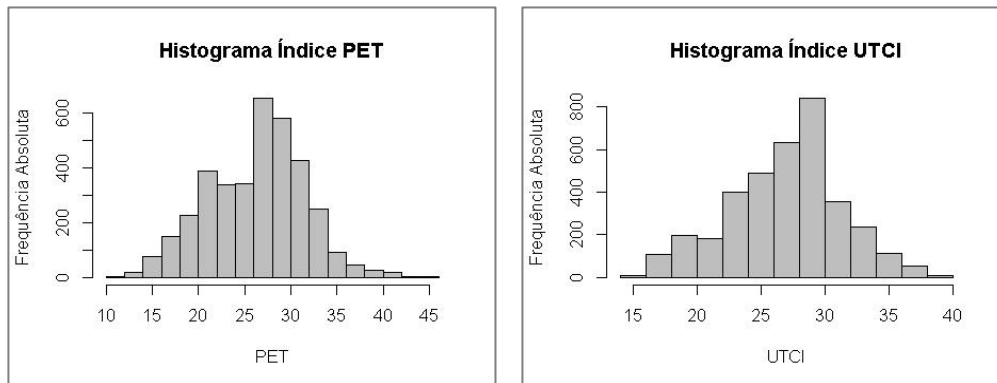
Quadro 16 - Valores médios das variáveis ambientais em cada dia de medição e por estação do ano. Os valores entre parênteses são os valores mínimos e máximos.

DATA	ESTAÇÃO	Temperatura do Ar - T_a (°C)		Temperatura Radiante Média - t_r (°C)		Umidade Relativa - RH (%)		Velocidade do vento - v (m/s)	
13/09/2018	INVERNO	22,5	23,2 (21,0 - 25,5)	27,8	28,2 (22,3 - 45,8)	54,9	55,7 (50,0 - 61,1)	1,0	0,6 (0,0 - 4,4)
14/09/2018			24,6 (22,0 - 27,8)		32,1 (24,5 - 47,0)		54,8 (47,3 - 65,1)		0,5 (0,0 - 4,1)
31/08/2018			24,3 (22,4 - 26,2)		29,2 (24,1 - 45,1)		49,0 (40,2 - 56,7)		1,0 (0,0 - 6,5)
30/08/2018			24,1 (21,0 - 26,6)		49,3 (28,6 - 75,0)		53,8 (45,5 - 61,2)		3,4 (0,0 - 9,9)
08/07/2013			22,9 (15,5 - 27,7)		27,1 (16,7 - 53,3)		55,5 (38,8 - 81,0)		1,1 (0,0 - 5,7)
09/07/2013			21,6 (17,4 - 25,8)		26,4 (17,9 - 52,3)		54,3 (42,8 - 62,1)		1,0 (0,0 - 4,9)
07/07/2010			18,5 (15,1 - 24,2)		24,5 (15,4 - 74,6)		55,7 (40,2 - 75,5)		0,7 (0,0 - 3,8)
22/07/2009			26,1 (24,4 - 29,9)		28,5 (23,1 - 54,0)		50,8 (40,2 - 57,2)		0,9 (0,0 - 3,5)
22/04/2009	OUTONO	26,1	26,1 (23,8 - 29,1)	29,3	29,3 (17,8 - 52,3)	48,9	48,9 (39,0 - 57,3)	1,0	1,0 (0,0 - 4,4)
13/12/2018	PRIMAVERA	28,7	28,3 (24,3 - 33,0)	31,8	33,5 (25,2 - 55,6)	50,5	50,9 (38,7 - 58,9)	0,8	1,0 (0,0 - 4,3)
15/10/2009			29,2 (27,4 - 31,5)		30,0 (24,0 - 58,5)		50,2 (45,9 - 55,3)		0,5 (0,0 - 3,0)
10/01/2019	VERÃO	29,4	26,8 (24,1 - 29,5)	33,0	30,4 (25,2 - 58,7)	52,5	53,7 (47,1 - 60,5)	1,5	1,0 (0,0 - 3,5)
09/01/2019			25,8 (23,5 - 29,4)		31,7 (25,0 - 54,7)		57,4 (43,5 - 76,8)		0,8 (0,0 - 6,17)
07/01/2019			30,3 (25,5 - 34,2)		44,3 (30,2 - 70,0)		55,6 (52,3 - 59,1)		1,7 (0,0 - 5,88)
08/01/2018			29,3 (27,7 - 30,7)		33,4 (28,8 - 37,7)		55,8 (52,4 - 59,3)		2,0 (0,0 - 6,0)
11/03/2013			28,9 (21,4 - 33,6)		35,8 (25,0 - 64,8)		55,7 (28,5 - 76,4)		1,5 (0,0 - 6,9)
13/03/2013			31,0 (25,2 - 35,3)		31,1 (25,2 - 45,2)		48,4 (39,3 - 67,2)		2,0 (0,15 - 7,8)
28/01/2010			28,2 (27,0 - 32,0)		29,7 (25,0 - 57,0)		52,4 (45,0 - 56,0)		0,4 - (0,0 - 3,0)

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Os histogramas e as medidas da estatística descritiva dos índices PET e UTCI são descritas na Figura 16 e Quadro 17. Observa-se que os valores das médias dos índices PET e UTCI estão bem próximos e há uma variação ligeiramente maior entre os valores do índice PET, com desvio padrão igual a 5,26 °C, comparado ao índice UTCI, com desvio padrão igual a 4,41 °C

Figura 16 - Histograma das variáveis: PET e UTCI.



Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

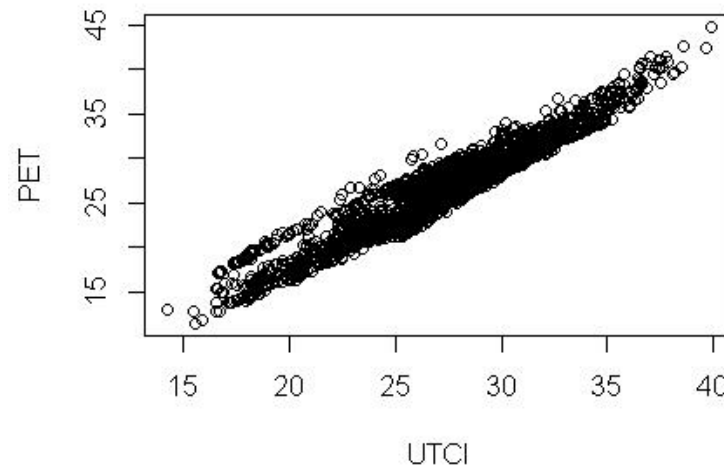
Quadro 17 - Estatística descritiva dos índices de conforto térmico – PET e UTCI.

Variável	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão
UTCI	14,22	24,05	27,45	26,9	29,58	39,87	4,41
PET	11,5	22,4	27	26,31	29,9	44,8	5,26

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Para verificar a relação entre os índices PET e UTCI foi gerado um gráfico de dispersão (Figura 17). Conclui-se que existe uma forte correlação linear positiva entre os índices PET e UTCI, apresentando Coeficiente de Correlação Linear de Pearson de 0,96, conforme Quadro 18, que descreve a matriz de correlações entre os índices e as variáveis utilizadas no cálculo dos mesmos.

Figura 17 - Gráfico de dispersão entre PET e UTCI.

Gráfico de Dispersão dos Índices PET e UTCI

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Quadro 18 - Matriz de Correlações entre os índices PET e UTCI e as variáveis quantitativas que integram o cálculo dos índices.

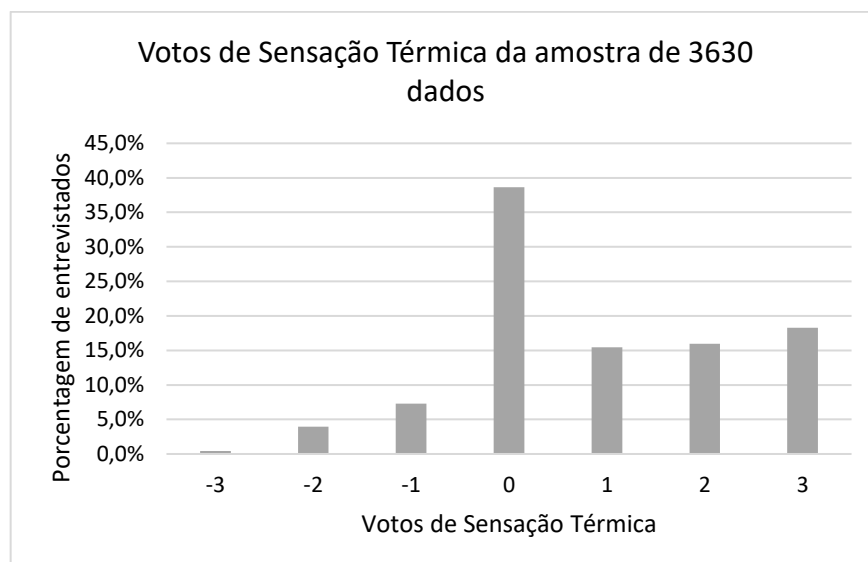
Matriz de Correlações	PET	UTCI	Temp. Radiante Média	Temp. do Ar	Umidade Relativa	Velocidade do Ar	Vestimenta
PET	1,00	0,96	0,68	0,86	-0,57	0,02	-0,28
UTCI	0,96	1,00	0,72	0,92	-0,57	0,16	-0,31
Temp. Radiante Média	0,68	0,72	1,00	0,48	-0,03	0,48	-0,13
Temp. do Ar	0,86	0,92	0,48	1,00	-0,68	0,20	-0,35
Umidade Relativa	-0,57	-0,57	-0,34	-0,68	1,00	-0,14	0,20
Velocidade do Ar	0,02	0,16	0,48	0,20	-0,14	1,00	-0,03
Vestimenta	-0,28	-0,31	-0,13	-0,35	0,20	-0,03	1,00

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Observa-se na matriz de correlações a alta correlação dos índices PET e UTCI com a variável temperatura do ar. Em relação aos índices PET e UTCI, a menor correlação foi observada com a variável velocidade do ar, o que em parte pode ser explicado pela extrema concentração de valores baixos de velocidade do ar (entre 0 e 1 m/s) obtidos para esta amostra.

A Figura 18 apresenta a distribuição percentual dos votos de sensação térmica, onde pode-se que a categoria de sensação térmica mais frequente foi a categoria neutra, totalizando 1402 (38,6%) entrevistados. Nota-se também uma assimetria na distribuição como maior proporção de entrevistados relatando calor do que frio. Entre os entrevistados que relataram frio, 265 (7,3% dos entrevistados) estavam com pouco frio; 144 (4,0%) com frio e 16 (0,4%) responderam com muito frio. Entre os entrevistados que relataram calor, 663 (18,3%) responderam estar com muito calor; 579 (16,0% dos entrevistados) com calor; 561 (15,5% dos entrevistados) com pouco calor.

Figura 18 - Distribuição percentual dos votos de sensação térmica.

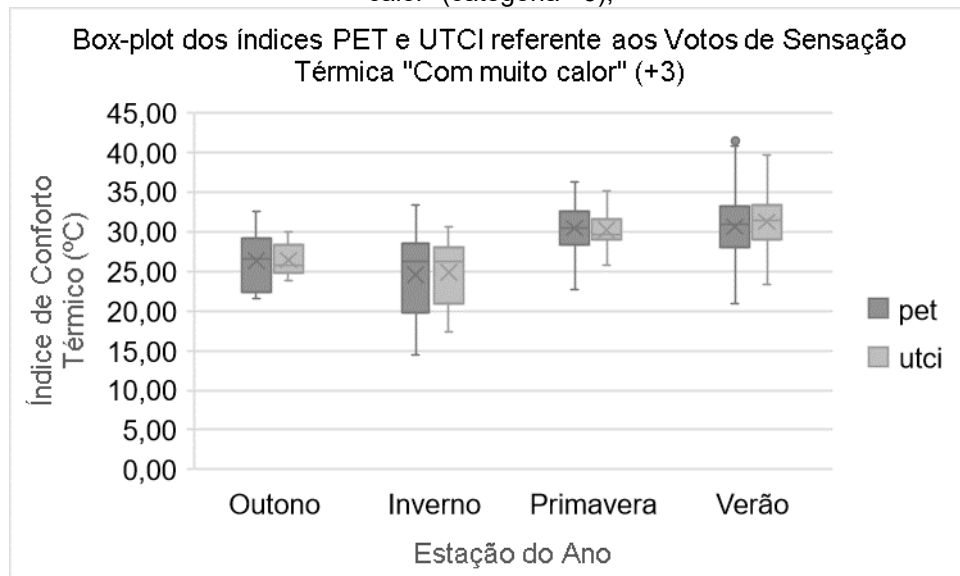


Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Na Figura 19 analisou-se os 663 dados da categoria +3 quanto às estações do ano dos entrevistados. É possível observar que, na estação inverno, houve uma maior dispersão de valores dos índices PET e UTCI, com valores do 1º quartil e 3º quartil entre 20°C e 30°C. Dias quentes da estação inverno na capital mineira geralmente são incomuns, mas podem ocorrer. Por exemplo, o Jornal do Estado de Minas Gerais do dia 22/07/2013, registrou maior temperatura em julho dos últimos dez anos, correspondente a 30,8°C. O mês em que a variação ficava entre 13°C e 24°C não tinha temperaturas tão altas desde 1990, quando foi registrada a máxima de 30,4°C. Em 03/09/2019, considerado como o dia mais quente do inverno de 2019, os termômetros marcaram 34,6°C em uma estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) na Pampulha e 34,1°C na Região Centro-Sul. Neste caso,

como a amostra em estudo contempla os períodos de julho de 2013 e de setembro de 2019, em que ocorreram altas temperaturas no inverno, pode-se entender melhor o motivo dos votos de sensação térmica “muito calor” na estação inverno.

Figura 19 - Box-plots dos índices PET e UTCI referente aos Votos de Sensação Térmica “Com muito calor” (categoria +3),



Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

É possível observar que, na estação inverno, houve uma maior dispersão de valores dos índices PET e UTCI, com valores do 1º quartil e 3º quartil entre 20°C e 30°C. Dias quentes da estação inverno na capital mineira geralmente são incomuns, mas podem ocorrer. Por exemplo, o Jornal do Estado de Minas Gerais do dia 22/07/2013, noticiou maior temperatura em julho dos últimos dez anos, correspondente a 30,8°C. O mês em que a variação ficava entre 13°C e 24°C não tinha temperaturas tão altas desde 1990, quando foi registrada a máxima de 30,4°C. Em 03/09/2019, considerado como o dia mais quente do inverno de 2019, os termômetros marcaram 34,6°C em uma estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) na Pampulha e 34,1°C na Região Centro-Sul. Neste caso, como a amostra em estudo contempla os períodos de julho de 2013 e de setembro de 2019, em que ocorreram altas temperaturas no inverno, pode-se entender melhor o motivo dos votos de sensação térmica “muito calor” na estação inverno. Outro ponto a ser considerado é que pelo inverno ser seco (quase não há nebulosidade) os valores de T_{mrt} tendem a ser mais altos. Nesse sentido, soma-se a expectativa térmica, por parte das pessoas, de

ocorrer “frio” no inverno e, na realidade, o dia estar “quente”, influenciando também nas respostas dos indivíduos.

Levando em consideração todo o período de coleta, no que se refere à sensação térmica destaca-se que 39% dos indivíduos (1.402 pessoas) consideraram o local termicamente confortável. A sensação de conforto (voto correspondente a 0) esteve presente nos seguintes intervalos calculados para: PET de 11,9 a 44,8°C e UTCI de 15,5 a 39,87°C, com amplitude de 32,9°C e 24,37°C, respectivamente. (Quadro 19).

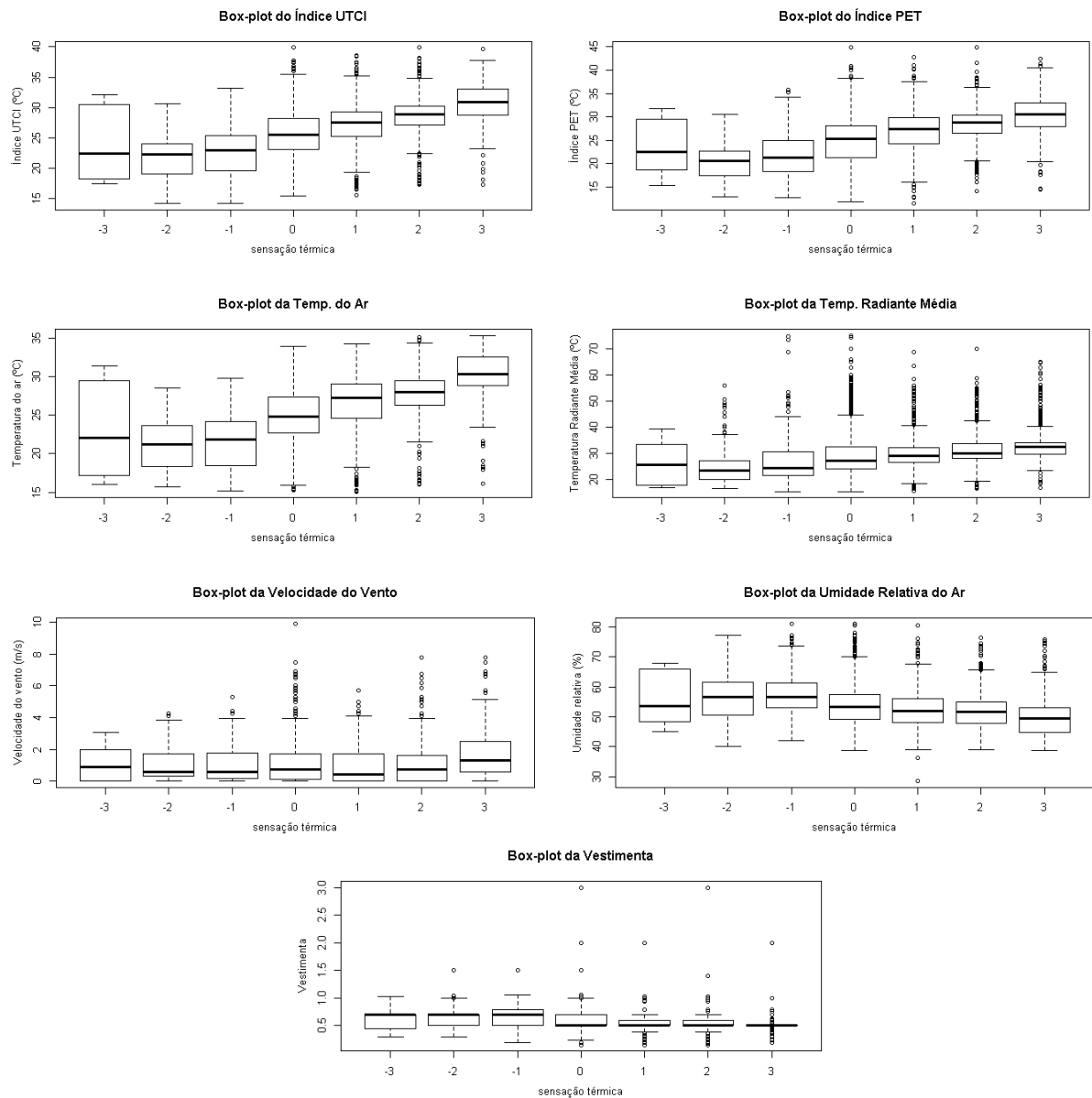
Quadro 19 - Estatística descritiva das variáveis quantitativas.

Índice de Conforto Térmico	Intervalo dos Votos de Sensação Térmica Neutra (°C)	Média dos Votos de Sensação Térmica Neutra (°C)
PET	11,9 a 44,8	24,77
UTCI	15,5 a 39,87	25,52

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

A Figura 20 apresenta a associação de PET, UTCI e variáveis quantitativas que foram consideradas para cálculo dos índices, segundo as categorias de sensação térmica.

Figura 20 - Box-plots das variáveis UTCI, PET, Temperatura do Ar, Temperatura Radiante Média, Velocidade do Vento, Umidade Relativa do Ar e Vestimenta.



Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

É possível observar uma relação não linear entre os valores dos índices termofisiológicos PET e UTCI com os escores de sensação térmica, evidenciado pelas mudanças nos valores medianos destes índices (identificados pelas linhas horizontais no interior das caixas) como aumento nos escores de sensação térmica. O mesmo pode ser observado para os índices diretos, temperatura do ar e temperatura radiante média. A associação entre os escores de sensação térmica com os índices PET e UTCI e com as variáveis temperatura do ar e temperatura radiante média apresenta o mesmo tipo de tendência, o que é explicado pelas altas correlações positivas entre

elas. Para as categorias de sensação térmica indicadoras de calor, nota-se uma maior frequência de “outliers”, o que ocorre mais acentuadamente para a temperatura radiante média.

Os box-plots para as variáveis umidade do ar e velocidade do vento indicam que estas variáveis têm menor influência sobre a sensação térmica. As medianas da velocidade do ar permanecem aproximadamente constantes através das categorias de sensação térmica. Quanto à umidade do ar nota-se uma tendência de decréscimo da unidade relativa do ar com o aumento dos escores de sensação térmica. Uma tendência de decréscimo dos valores de vestimenta também é observada com o aumento nos escores de sensação térmica como esperado.

4.2 CALIBRAÇÕES

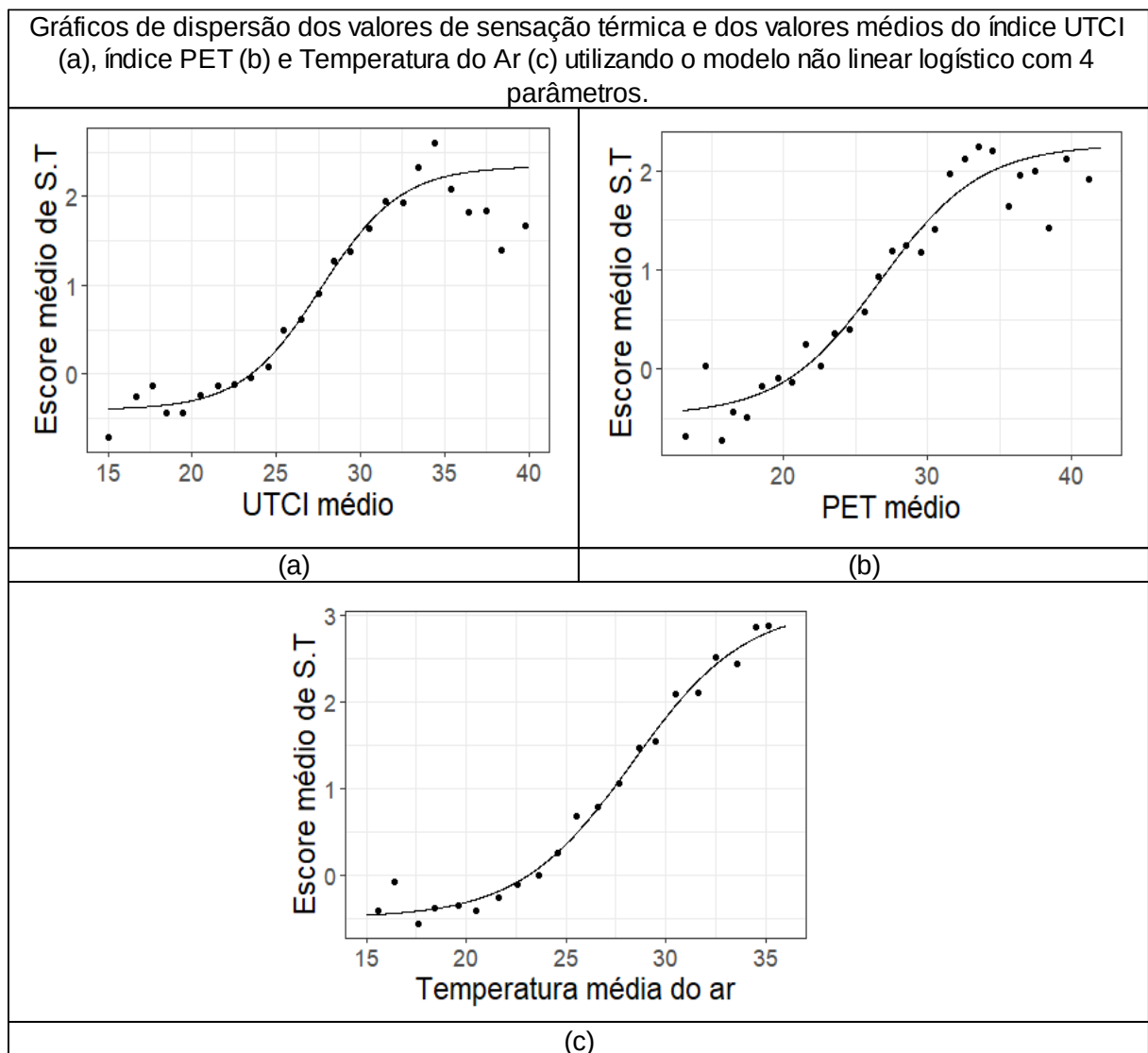
Nesta seção apresentam-se os resultados das calibrações dos índices UTCI, PET e temperatura do ar, para a medição da sensação térmica. Inicialmente nosso objetivo era considerar apenas os índices PET e UTCI. Dada a alta correlação observada entre a temperatura do ar e estes 2 índices (0,86 e 0,92, respectivamente), aplicou-se a calibração desta variável também. Na subseção 4.2.1 os resultados são apresentados, os quais foram obtidos a partir do ajuste do modelo não linear logístico com 4 parâmetros para os escores de sensação térmica, com as respectivas faixas neutras de sensação térmica estimadas. Na subseção 4.2.2 tem-se os resultados obtidos a partir do ajuste de modelos de regressão ordinal, com funções de ligação logito e probito, para a variável categórica sensação térmica. Apresenta-se também as faixas neutras de sensação térmica estimadas através do método 1 e do método 2 abordados na metodologia.

4.2.1 CALIBRAÇÃO PELO MODELO NÃO LINEAR DE QUATRO PARÂMETROS

Ajustou-se modelos não lineares logísticos com 4 parâmetros, apresentados na Figura 21. Os gráficos indicam que, para as 3 variáveis, a forma desta relação é sigmoide, o que era esperado pois os valores dos escores observados são limitados à esquerda por -3 e à direita por 3. Para valores de PET e UTCI acima de 35°C era esperado que os valores médios dos escores convergissem para uma assíntota superior e não

apresentassem o declínio observado em ambos os gráficos. De maneira geral, nota-se um padrão mais irregular dos pontos nos gráficos para PET e UTCI. Ressalta-se que, para encontrar a faixa neutra de sensação térmica, os modelos foram ajustados considerando os valores dos escores individuais de sensação térmica e não os escores médios representados nos gráficos.

Figura 21 - Diagrama de dispersão dos valores médios dos escores de sensação térmica versus valores médios do índice térmico UTCI (a), PET (b) e temperatura do ar (c) e curvas logísticas estimadas.



Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

No Quadro 20 são apresentadas as estimativas dos parâmetros dos 3 modelos logísticos estimados para os escores de sensação térmica, com seus respectivos erros padrão. Todos os modelos apresentaram assíntotas inferiores estimadas

superiores a -0,5. Como detalhado na seção 3.3, os limites inferior e superior da faixa neutra de sensação térmica foram obtidos como os valores do índice térmico que resultam em valores preditos dos escores de sensação térmica entre -0,5 e +0,5. Portanto, apenas os limites superiores destas faixas foram obtidos. Estas faixas, além do valor da sensação térmica neutra ou valor neutral, são apresentadas no Quadro 21. Pode-se notar que os valores obtidos para o índice PET foram menores do que aqueles obtidos para os índices UTCI e Ta, que apresentaram maior similaridade entre si, o que pode ser explicado pela maior correlação observada a entre Ta e UTCI do que entre Ta e PET, como mostrado na seção 4.1.2.

Quadro 20 - Estimativas dos parâmetros e erros padrão de cada modelo ajustado.

Parâmetro	Modelo PET		Modelo UTCI		Modelo Ta	
	Estimativa	Erro padrão estimado	Estimativa	Erro padrão estimado	Estimativa	Erro padrão estimado
A1	-0,4660	0,1048	-0,4038	0,0693	-0,4852	0,0717
A2	2,2626	0,1251	2,3414	0,0964	3,0978	0,1860
B	26,7377	0,3811	27,6594	0,2190	28,3276	0,3074T
C	3,4592	0,4172	2,3721	0,2220	2,8329	0,2592

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Quadro 21 - Valor neutral e limite superior do índice PET, índice UTCI e Temperatura do Ar para a faixa de sensação térmica neutra, utilizando ajustes logísticos de 4 parâmetros para as categorias individuais de sensação térmica.

Quantidades estimadas	Modelo PET	Modelo UTCI	Modelo Ta
Valor neutral	21,27 °C	23,49 °C	23,08 °C
Limite superior	24,66 °C	25,97 °C	25,58 °C

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Para avaliar qual dos três modelos considerados alcança maior poder preditivo da sensação térmica efetuou-se o cálculo dos valores do AIC (*Akaike information criterion*) e também a proporção de classificações corretas das categorias de sensação térmica, como indicado na seção 3.3.3. Conforme Quadro 22, dentre as 3 variáveis preditoras a que apresentou maior capacidade de predição dos escores e das categorias de sensação térmica foi a temperatura do ar, com menor valor do AIC e maior proporção de classificações corretas.

Quadro 22 - AIC e Porcentagem de classificações corretas (C.C.).

Variável preditora	AIC	% de C.C
PET	11290,93	31,10
UTCI	11579,47	32,86
Ta	10875,03	35,17

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

4.2.2 CALIBRAÇÃO PELOS MODELOS LOGITO E PROBITO

Os modelos de regressão ordinal para probabilidades cumulativas, $P(Y \leq j)$, com funções de ligação logito e probito (modelos logito e probito), foram estimados considerando individualmente como variáveis preditoras os índices PET, UTCI e a temperatura do ar (Ta) e como variável resposta a variável sensação térmica, com 7 categorias.

Para cada caso (UTCI, PET e Ta) foi testada a hipótese de que o valor do parâmetro β , que mede a influência da variável preditora, é independente da categoria j de sensação térmica. (hipótese de proporcionalidade) através do teste da razão de verossimilhanças. Os resultados destes testes são apresentados no Quadro 23. Em todos os casos, considerando-se nível de significância de 5%, encontrou-se evidências contra esta hipótese. Por esta razão estimamos modelos não proporcionais.

Quadro 23 - Teste de Hipóteses para as variáveis UTCI, PET e Ta.

Modelo	Variável	Estatística de teste	p-valor
Logito	UTCI	33,625	2.827e-06
	PET	16.178	0.006353
	Ta	78.256	1.943e-15
Probit	UTCI	48,858	2.373e-09
	PET	27,98	3.673e-05
	Ta	91,016	2.2e-16

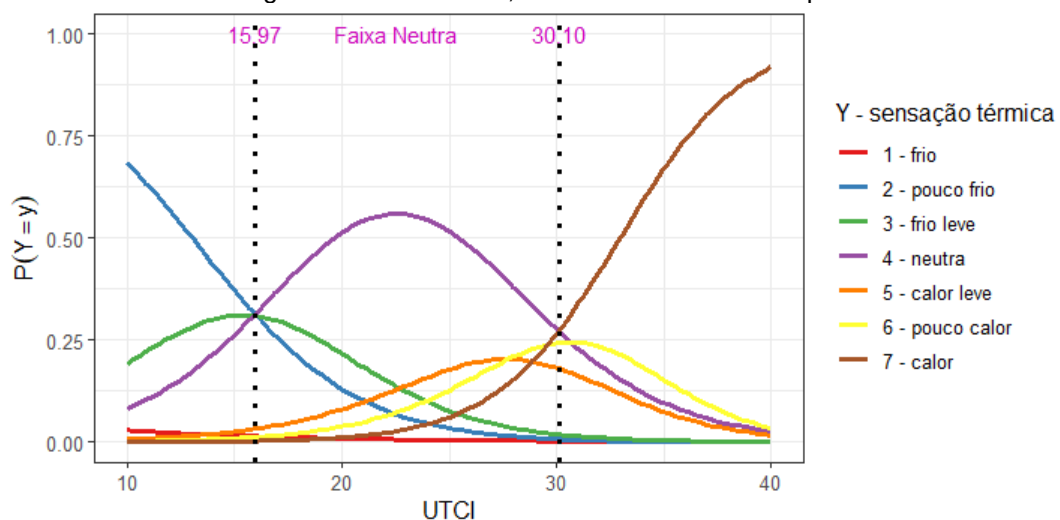
Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Nos Quadros 24 e 25 apresentamos as estimativas dos modelos ajustados e também os valores do AIC e da proporção de classificações corretas (% C.C). Nos resultados apresentados nestes quadros as categorias de sensação térmica são representadas segundo a ordem crescente das categorias pelos valores de 1 (frio) a 7 (calor).

A partir dos modelos apresentados acima foram obtidas as faixas neutras de sensação térmica pelos métodos 1 e 2 descritos na secção de metodologia. Estes métodos baseiam-se em 2 critérios diferentes de classificação dos indivíduos. O primeiro classifica o indivíduo na categoria com maior probabilidade estimada de pertencimento. Neste caso a faixa neutra corresponde à faixa de valores onde a probabilidade estimada de sensação térmica neutra, supera individualmente as probabilidades estimadas de cada uma das demais categorias. O segundo, proposto por Ballantyne *et al.* (1977), baseia-se nas estimativas das probabilidades cumulativas, $P(Y \leq j)$. Segundo este critério um indivíduo deixa de ser classificado na categoria $j - 1$ para ser classificado na categoria j quando a probabilidade de Y ser maior ou igual a j supera o valor 0,5. Neste caso, o limite da faixa neutra corresponde ao valor do índice térmico onde a probabilidade de sensação térmica menor ou igual à categoria pouco frio é igual a 0,5, e o limite superior é dado pelo valor do índice onde a probabilidade de sensação térmica menor ou igual à categoria neutra é igual a 0,5.

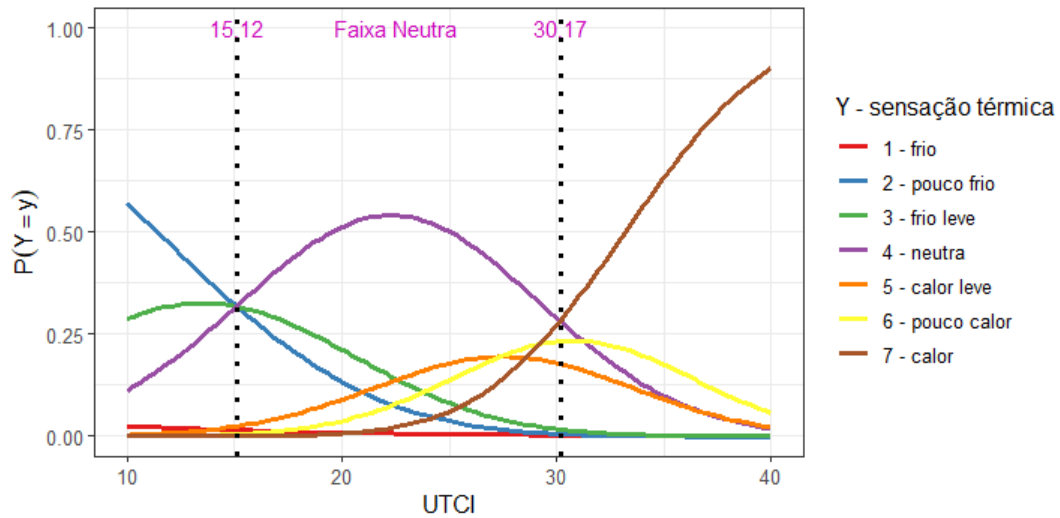
Nas Figuras 22 e 23 apresentam-se, para os modelos logito e probito, com a variável preditora UTCI, as probabilidades estimadas com a faixa neutra de sensação térmica estimada pelo método 1. Nas Figuras 24 e 25, apresentamos para este mesmo caso, as probabilidades cumulativas estimadas com a respectiva faixa neutra estimada pelo método 2.

Figura 22 - Probabilidades cumulativas de sensação térmica (Y) estimadas pelo modelo logístico ordinal segundo o índice UTCI, com faixa neutra obtida pelo método 1.



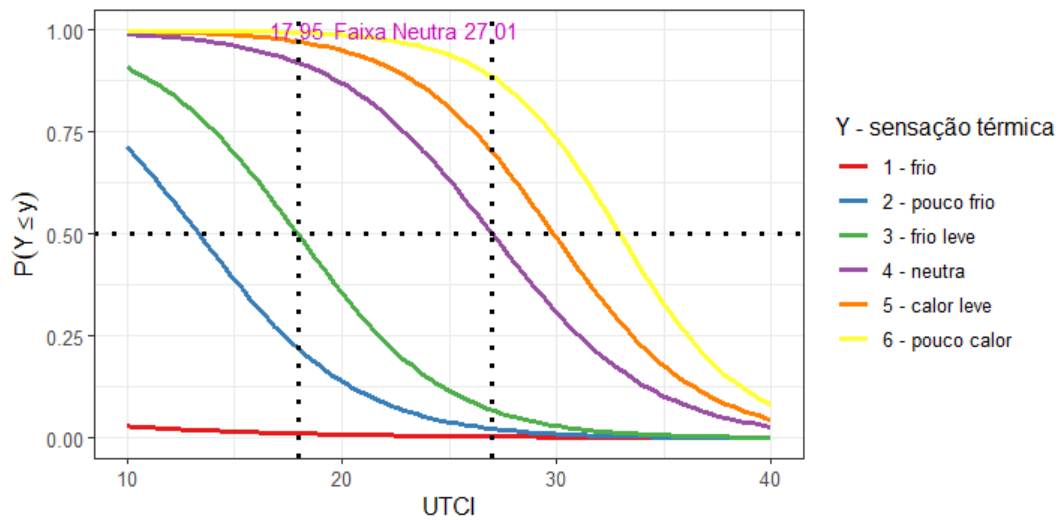
Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA *et al.* (2016, 2018) e SILVA (2019).

Figura 23 - Probabilidades cumulativas de sensação térmica (Y) estimadas pelo modelo probito ordinal segundo o índice UTCI, com faixa neutra obtida pelo método 1.



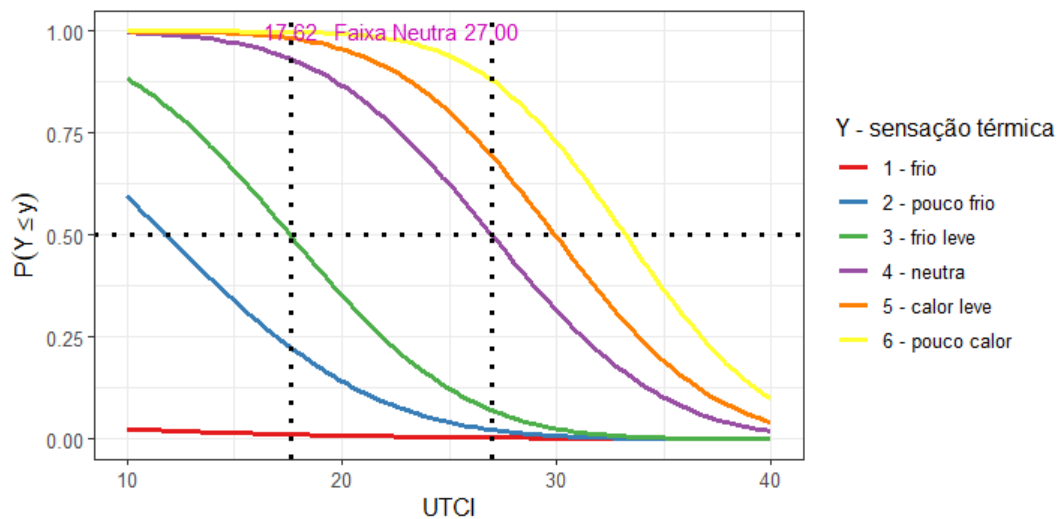
Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Figura 24 - Probabilidades cumulativas de sensação térmica (Y) estimadas pelo modelo logístico ordinal segundo o índice UTCI, com faixa neutra obtida pelo método 2.



Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Figura 25 - Probabilidades cumulativas de sensação térmica (Y) estimadas pelo modelo probito ordinal segundo o índice UTCI, com faixa neutra obtida pelo método 2.



Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

No Quadro 24 são apresentadas as faixas neutras de sensação térmica obtidas pelos métodos 1 e 2, para os modelos logito e probito relacionados às variáveis predictoras PET, UTC e Ta.

Quadro 24 - Faixas de sensação térmica neutra obtidas pelos métodos 1 e 2.

Modelo	Logito		Probit	
	1	2	1	2
Método	1	2	1	2
Limites da faixa de conforto térmico neutra (°C)	LI - LS	LI - LS	LI - LS	LI - LS
UTCI	15,97 - 30,10	17,95 - 27,01	15,12 - 30,17	17,62 - 27,00
PET	13,18 - 30,38	15,27 - 26,43	11,95 - 30,46	14,75 - 26,45
Temperatura Ar (Ta)	15,55 - 29,14	18,03 - 26,36	16,23 - 29,13	17,90 - 26,22

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Comparando as faixas de conforto térmico obtidas pelos métodos logito e probito para uma mesma variável preditora, notamos que elas são muito similares, com maior variação nos valores dos limites inferiores, resultado esperado devido ao ajuste igualmente bom para ambos os modelos.

Comparando as faixas de conforto térmico obtidas das 3 variáveis predictoras, para um mesmo modelo, podemos observar uma maior amplitude para as faixas resultantes do índice PET em comparação ao índice UTCI e Temperatura do ar. Comparando as faixas obtidas pelos métodos 1 e 2, nota-se que o método 2 produz faixas mais estreitas que o método 1, o que era esperado pois elas baseiam-se em critérios

distintos de classificação da sensação térmica. Enquanto o método 1 baseia-se nas estimativas das probabilidades de cada uma das categorias de sensação térmica, o método 2 dicotomiza a decisão, baseando-se nas probabilidades cumulativas.

Para verificarmos qual método produz calibrações mais coerentes, comparou-se no Quadro 25 as proporções de classificações corretas proporcionadas por estes 2 métodos: método baseado nas probabilidades pontuais das categorias (Método 1) e método baseado nas probabilidades cumulativas (Método 2).

Quadro 25 – Proporções de classificações corretas pelos métodos 1 e 2.

Modelo	Variável Preditora	Método 1	Método 2
Logito	UTCI	45,45	38,34
	PET	44,35	34,98
	Ta	47,38	41,76
Probita	UTCI	45,62	38,34
	PET	44,46	34,98
	Ta	47,57	41,76

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Quanto à proporção de classificações corretas, o método 1 mostrou-se superior ao método 2, para ambos modelos logito e probito e para as três variáveis preditoras consideradas.

Nos Quadros 26 e 27 apresentam-se as estimativas dos parâmetros dos modelos logito e probito ajustados, e de seus erros padrão, para cada um dos índices térmicos, além dos valores do índice AIC de qualidade do ajuste e da proporção de classificações corretas. Concordando com o resultado obtido para a proporção de classificações corretas, o menor valor do AIC também indica que o melhor ajuste ocorreu para o modelo com variável preditora temperatura do ar. Estes resultados concordam com os resultados obtidos para os modelos não lineares ajustados para os escores de sensação térmica apresentados na seção 4.2.1.

Como esperado, os modelos logito e probito, apresentaram qualidade de ajuste similar, com valores da proporção de classificações corretas e do AIC praticamente iguais,

Quadro 26 – Modelo logito ajustado para sensação térmica, valores de AIC e Porcentagem de Predições Corretas, segundo a variável preditora utilizada.

Variável Preditora	Probabilidade	Modelo ajustado Logito				
		Estimativa Padrão	Erro	Valor de Z	AIC	% C.C
UTCI	1 2.(Intercept)	-2,32	1,62	-1,43	10.240,84	45,45
	2 3.(Intercept)	3,65	0,50	7,28		
	3 4.(Intercept)	5,16	0,34	15,16		
	4 5.(Intercept)	7,31	0,28	25,75		
	5 6.(Intercept)	8,93	0,32	27,74		
	6 7.(Intercept)	11,36	0,44	25,99		
	1 2.UTCI	-0,12	0,07	-1,76		
	2 3.UTCI	-0,27	0,02	-12,46		
	3 4.UTCI	-0,29	0,01	-20,03		
	4 5.UTCI	-0,27	0,01	-26,09		
	5 6.UTCI	-0,30	0,01	-26,46		
	6 7.UTCI	-0,34	0,01	-23,65		
PET	1 2.(Intercept)	-3,59	1,30	-2,73	10.494,58	44,35
	2 3.(Intercept)	2,30	0,40	5,76		
	3 4.(Intercept)	3,51	0,27	12,91		
	4 5.(Intercept)	5,42	0,22	24,62		
	5 6.(Intercept)	6,49	0,25	26,06		
	6 7.(Intercept)	7,94	0,34	23,63		
	1 2.PET	-0,07	0,05	-1,28		
	2 3.PET	-0,23	0,02	-12,34		
	3 4.PET	-0,23	0,01	-19,17		
	4 5.PET	-0,21	0,01	-25,06		
	5 6.PET	-0,21	0,01	-24,31		
	6 7.PET	-0,23	0,01	-20,28		
Ta	1 2.(Intercept)	-3,80	1,91	-1,99	9.828,80	47,38
	2 3.(Intercept)	3,71	0,51	7,24		
	3 4.(Intercept)	5,98	0,35	17,13		
	4 5.(Intercept)	8,53	0,32	26,73		
	5 6.(Intercept)	10,69	0,38	28,38		
	6 7.(Intercept)	14,52	0,53	27,11		
	1 2.Ta	-0,05	0,08	-0,66		
	2 3.Ta	-0,28	0,02	-12,17		
	3 4.Ta	-0,33	0,01	-21,70		
	4 5.Ta	-0,32	0,01	-27,12		
	5 6.Ta	-0,37	0,01	-27,49		
	6 7.Ta	-0,46	0,02	-25,48		

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

Quadro 27 - Modelo probito ajustado para sensação térmica, valores de AIC e Porcentagem de Predições Corretas, segundo a variável preditora utilizada.

Variável Preditora	Probabilidade	Modelo ajustado Probit				
		Estimativa Padrão	Erro	Valor de Z	AIC	% C.C
UTCI	1 2.(Intercept)	-1,55	0,53	-2,94	10.248,22	45,62
	2 3.(Intercept)	1,56	0,25	6,25		
	3 4.(Intercept)	2,76	0,19	14,40		
	4 5.(Intercept)	4,29	0,16	27,57		
	5 6.(Intercept)	5,16	0,17	29,73		
	6 7.(Intercept)	6,29	0,23	26,96		
	1 2.UTCI	-0,04	0,02	-1,93		
	2 3.UTCI	-0,13	0,01	-12,56		
	3 4.UTCI	-0,16	0,01	-20,04		
	4 5.UTCI	-0,16	0,01	-27,88		
	5 6.UTCI	-0,17	0,01	-28,05		
	6 7.UTCI	-0,19	0,01	-23,97		
PET	1 2.(Intercept)	-1,91	0,44	-4,34	10.493,03	44,46
	2 3.(Intercept)	0,88	0,20	4,47		
	3 4.(Intercept)	1,82	0,15	12,03		
	4 5.(Intercept)	3,25	0,12	26,21		
	5 6.(Intercept)	3,84	0,14	27,89		
	6 7.(Intercept)	4,45	0,18	24,98		
	1 2.PET	-0,02	0,01	-1,51		
	2 3.PET	-0,11	0,01	-12,52		
	3 4.PET	-0,12	0,01	-19,32		
	4 5.PET	-0,12	0,01	-26,67		
	5 6.PET	-0,12	0,01	-25,71		
	6 7.PET	-0,12	0,01	-20,78		
Ta	1 2.(Intercept)	-1,99	0,58	-3,39	9.862,33	47,57
	2 3.(Intercept)	1,75	0,26	6,69		
	3 4.(Intercept)	3,36	0,20	16,90		
	4 5.(Intercept)	4,89	0,17	28,82		
	5 6.(Intercept)	5,89	0,19	30,52		
	6 7.(Intercept)	7,66	0,28	27,83		
	1 2.Ta	-0,02	0,02	-0,90		
	2 3.Ta	-0,14	0,01	-12,55		
	3 4.Ta	-0,19	0,01	-22,16		
	4 5.Ta	-0,19	0,01	-29,11		
	5 6.Ta	-0,20	0,01	-29,13		
	6 7.Ta	-0,24	0,01	-25,57		

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

4.2.3 INFLUÊNCIA DAS DIFERENTES CLASSIFICAÇÕES DA ESCALA DE SENSAÇÃO TÉRMICA PARA CALIBRAÇÃO PELOS MODELOS LOGITO E PROBITO AJUSTADOS PELOS MÉTODOS 1 E 2

A verificação da influência do potencial do número de categorias de escala usados na avaliação da sensação térmica foi uma das sugestões descritas no trabalho de Pantavou *et al.* (2014) para estudos futuros. Para examinar a influência de pontos de escala de sensação térmica variados para um mesmo conjunto de dados, apresentam-se no Quadro 28, os resultados da calibração da faixa de conforto térmico neutra para os índices UTCI, PET e Ta com relação à percepção de sensação térmica baseada na classificação em 7, 5 e 3 categorias, pelos modelos logito e probito, sendo ajustados pelo método 1 e método 2 conforme visto na seção anterior.

Quadro 28 - Limites superior (LS) e inferior (LI) das faixas de conforto térmico estimadas para os índices UTCI e PET, e a Temperatura do Ar (Ta), obtidas das calibrações pelos modelos Logito e Probita para o 7, 5 e 3 categorias de sensação térmica.

Modelo	Método de obtenção da faixa neutra de sensação térmica	Número de categorias	7		5		3	
		Limites da faixa de conforto térmico neutra (°C)	LI	LS	LI	LS	LI	LS
Logito	1	UTCI	15,97	30,10	16,07	28,16	18,62	26,47
		PET	13,18	30,38	13,29	27,84	16,31	25,66
		Ta	16,55	29,14	16,65	27,44	18,48	25,93
	2	UTCI	17,95	27,01	17,94	27,03	17,99	27,05
		PET	15,27	26,43	15,28	26,44	15,40	26,46
		Ta	18,03	26,36	18,00	26,36	18,02	26,25
Probita	1	UTCI	15,12	30,17	15,16	28,14	18,24	26,33
		PET	11,95	30,46	12,06	27,84	15,72	25,52
		Ta	16,23	29,13	16,24	27,34	18,73	25,74
	2	UTCI	17,62	27,00	17,57	27,00	17,58	27,00
		PET	14,75	26,45	14,73	26,44	14,80	26,44
		Ta	17,90	26,22	17,84	26,22	17,83	26,22

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA *et al.* (2016, 2018) e SILVA (2019).

As faixas neutras de conforto térmico obtidas pelo método 2 são pouco influenciadas pelo número de categorias usadas no ajuste do modelo. Isto porque este método baseia-se nas probabilidades acumuladas $P(Y < \text{categoria neutra})$ e $P(Y \leq \text{categoria neutra})$.

Neutra), e as estimativas destas quantidades, principalmente nos casos onde a hipótese de proporcionalidade é válida, não são afetadas pelo agrupamento de categorias adjacentes. Esta é uma grande vantagem do método 2, pois mesmo usando escalas diferentes as faixas neutras ajustadas podem ser comparadas.

As faixas neutras obtidas pelo método 1 foram fortemente afetadas pelo número de categorias utilizadas para o ajuste do modelo. A amplitude da faixa neutra tende a reduzir com a diminuição do número de categorias. Nota-se que os limites inferiores para as faixas obtidas pelos modelos com 5 e 7 categorias foram praticamente iguais. Isto pode ser explicado pela falta de dados nas categorias Frio e Pouco Frio da amostra em estudo. Enquanto os limites superiores dessas categorias apresentaram maiores variações, podendo ser devido aos dados deste estudo estarem mais distribuídos entre as categorias Leve Calor, Pouco Calor e Calor.

A grande influência do número de categorias utilizadas no ajuste dos modelos sobre a faixa neutra decorre do fato da classificação dos indivíduos, e consequentemente a obtenção da faixa neutra, resultar da comparação entre as probabilidades estimadas de cada categoria. Nos modelos com 7 categorias, como aqueles ajustados na seção anterior, um indivíduo é classificado na categoria neutra quando a probabilidade estimada de resposta desta categoria supera individualmente as probabilidades de qualquer uma das demais categorias, e a faixa neutra de conforto térmico é dada pelos valores da variável preditora (UTCI ou PET) para os quais isto ocorre. Entretanto, para um modelo com 3 categorias de resposta (-1 = frio, 0 = neutro e +1 = calor), o indivíduo é classificado na categoria neutra quando a probabilidade estimada de pertencer a esta categoria supera simultaneamente as probabilidades agrupadas das categorias relacionadas ao desconforto para frio e ao desconforto para o calor. Como a categoria frio no modelo de 3 categorias pode ser vista como o agregado das categorias -3, -2, e -1 (frio leve, pouco frio e frio), o critério usado no modelo de 3 categorias é mais exíguo que aquele usado modelo com 7 categorias. Desta forma, com o método 1, o critério da definição é dependente do número de categorias utilizadas no modelo de calibração.

A amplitude das faixas de conforto térmico foi comparada em relação à quantidade de categorias de sensação térmica. Conforme Quadro 29, as variáveis preditoras

temperatura do ar e UTCI, respectivamente, apresentaram menores amplitudes em ambos os modelos e categorias.

Quadro 29 - Amplitudes das faixas de conforto térmico estimadas das variáveis UTCI, PET e Temperatura do Ar, obtidas das calibrações por modelos logito e probito para ajuste de 7, 5 e 3 categorias de sensação térmica.

Modelo	Probit			Logito		
Número de categorias	7	5	3	7	5	3
UTCI	15,05	12,98	8,09	14,13	12,09	7,85
PET	18,51	15,78	9,80	17,20	14,55	9,35
Temperatura Ar	12,90	11,10	7,01	12,59	10,79	7,45

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

4.2.4 ANÁLISE DAS CALIBRAÇÕES DE BELO HORIZONTE

Foram realizadas comparações dos resultados da calibração deste estudo em relação aos trabalhos anteriores aplicados à calibração dos índices PET e UTCI para Belo Horizonte utilizando o modelo logito. O Quadro 30 apresenta as faixas calibradas no ponto neutro com ajustes de 3 (três) e 7 (sete) categorias de sensação térmica.

Quadro 30 - Faixas de conforto térmico obtidas das calibrações de Belo Horizonte por modelos Logito, calibrados para 3 e 7 categorias de sensação térmica e índices PET e UTCI.

Referência	Modelo	Número de categorias utilizadas no tratamento estatístico	Tamanho da amostra	Índice	Faixa de Conforto Térmico
Hirashima (2010)	Logito	7	944	PET	< 30,5
Hirashima et al. (2018)	Logito	7	1182	PET	16 a 30
Hirashima et al. (2016)	Logito	3	1693	PET	19 a 27
Silva (2019)	Logito	3	755	UTCI	16,9 a 26,4

Fonte: Elaborada pela autora, com base nos dados de HIRASHIMA et al. (2016, 2018) e SILVA (2019).

As amostras de 1182, 1693 e 755 observações, quando somadas, são equivalentes aos dados totais utilizados neste estudo (3.630 dados). Em relação ao índice PET, os limites superiores do modelo com 7 categorias foram muito próximos. Hirashima (2010) estimou 30,5°C e Hirashima et al. (2018) estimaram 30°C. Neste trabalho, considerando 3630 dados, para o modelo logito de 7 categorias foi encontrado o limite superior da faixa de conforto correspondente a 30,38°C. No entanto, o limite inferior da faixa de conforto do estudo de Hirashima et al. (2018), equivalente a 16°C, gerou

uma diferença de 2,82°C em relação ao limite inferior estimado neste trabalho (13,18°C) pelos mesmos parâmetros (modelo logito e índice PET). Este limite inferior mais baixo pode ter ocorrido devido ao aumento da quantidade de dados na estação inverno e à sombra, contribuindo para valores menores dos índices.

A faixa de conforto térmico do índice UTCI calibrada para Belo Horizonte no estudo de Silva (2019) foi de 16,9 a 26,4°C, amplitude de 9,50°C, considerando três categorias de sensação térmica, modelo Logito e 755 dados observados. No presente estudo de calibração aplicado a 3630 dados, a faixa de conforto térmico do índice UTCI obtida para três categorias e modelo Logito foi de 18,62 a 26,47°C, amplitude de 7,85°C. Essa proximidade de valores era esperada, pois os 755 dados de Silva (2019) fazem parte dos 3630 dados da amostra em estudo.

Para o índice PET calibrado no estudo de Hirashima (2010) não foi encontrado o limite inferior devido aos dados coletados. No estudo de Hirashima *et al.* (2016), a faixa de conforto térmico foi entre 19 e 27°C para o modelo logito com ajuste de três categorias de sensação térmica, para 1693 dados observados. Neste estudo aplicado a 3630 dados, a faixa de conforto térmico do índice PET obtida para três categorias no modelo logito resultou entre 16,31 a 25,66°C. Essa proximidade de valores também era esperada, pois os 1693 dados de Hirashima *et al.* (2016) fazem parte dos 3630 dados da amostra em estudo. É importante ressaltar que a amostra maior, de 3630 dados, abrange mais observações distribuídas em estação fria e a amostra menor possui mais dados distribuídos em estação quente. Assim, uma maior quantidade de dados que incluem condições ambientais extremas como ondas de calor e frio nos ajudariam a melhorar a discriminação dos limites nas categorias da escala de sensação térmica.

Essa análise confirma que as calibrações ajustadas com 3 categorias de sensação térmica possuem menor variação da faixa neutra de conforto térmico em relação às calibrações ajustadas com 7 categorias.

5. CONCLUSÕES

Para as demandas do planejamento urbano, a padronização dos processos de calibração torna-se cada vez mais importante, de modo a facilitar na comparação dos

resultados de calibrações com microclimas similares. No entanto, este trabalho demonstrou que adotar um método estatístico padrão é uma questão ainda complexa porque as amostras são específicas de cada local e cada uma possui determinada distribuição de respostas de sensação térmica. Este trabalho analisou os resultados de calibração por métodos distintos para uma amostra específica coletada na região central de Belo Horizonte.

A partir dos estudos precedentes levantados foi possível identificar que os métodos estatísticos para calibração mais utilizados são os modelos de regressão linear, com variável resposta normal e os modelos de regressão ordinal para probabilidades acumuladas (modelos Probit e Logito). Embora os modelos Probit e Logito sejam escolhas mais naturais, a calibração pelo modelo de Regressão Linear ainda é muito utilizada, principalmente no cenário internacional. Ao contrário dos modelos de regressão ordinal que consideram a natureza categórica ordinal da variável sensação térmica, os modelos de regressão linear tratam a variável sensação térmica com uma variável contínua atribuindo arbitrariamente designações numéricas a cada uma das categorias da variável sensação térmica.

Inicialmente o objetivo deste estudo era considerar apenas os índices PET e UTCI para calibração, mas, devido à alta correlação observada entre a temperatura do ar e estes dois índices de conforto térmico, realizou-se a calibração da variável preditora temperatura do ar também. Salienta-se que esta alta correlação é uma característica específica desta base de dados, e pode não ocorrer em outros estudos semelhantes. Porém, o ideal, e mais recomendado, é a utilização dos índices, que integram o efeito de todas as variáveis relacionadas à sensação térmica, para avaliação dos ambientes com relação ao conforto térmico. Höpfe (1999) exemplifica que em um dia quente e ensolarado de um espaço externo, o valor de PET seria 43 °C para determinado indivíduo, mas se ele fosse sair da irradiação solar direta para a sombra resultaria em uma redução do PET para 29 °C. Assim, as mesmas temperaturas do ar externo resultam em uma sensação térmica muito diferente, que pode ser quantificada de forma muito clara pelos valores do índice térmico. Nesse sentido, a temperatura do ar, por si só, não representa adequadamente a sensação térmica humana, que é função

também de outros fatores, tais como temperatura radiante média, velocidade do vento, umidade relativa, dentre outros, conforme mencionado no item 2.2 deste trabalho.

Os índices PET e UTCI obtiveram maiores valores do AIC e menores proporções de classificações corretas, indicando menor poder explicativo da sensação térmica em relação à temperatura do ar. Esse fato chama a atenção porque somente a temperatura do ar não determina a real sensação térmica experimentada pelo ser humano, sendo necessário levar em consideração os processos termorregulatórios básicos incorporados no índice térmico para avaliar os efeitos das complexas condições externas, conforme afirma Höppe (1999).

A variável temperatura do ar é muito relacionada com a sensação térmica dos indivíduos e, neste estudo, quando foi realizada a calibração desta variável, notou-se sua grande relevância para explicar a sensação térmica, assim como os índices PET e UTCI. Além da temperatura do ar, nos estudos de Thorsson *et al.* (2007), Nikolopoulou e Lykoudis (2007), Cheng e *et al.* (2012) a temperatura radiante média e a velocidade do vento também foram relevantes para analisar a sensação térmica das pessoas. Assim, o conforto térmico humano depende também da temperatura radiante média e da velocidade do ar, dentre outros fatores. Porém, no caso específico deste estudo, a sensação térmica neutra pode não ter apresentado tanta influência destas variáveis (T_{mrt} e v_a) devido ao fato de as pessoas entrevistadas estarem, em sua maioria, à sombra (2.794 pessoas) e expostas a valores baixos de velocidade do vento, observados na amostra em estudo, proporcionando pouca influência dessas variáveis nos valores calculados dos índices de conforto térmico. Dessa forma, como a maioria dos respondentes estavam à sombra e expostos a vento fraco, pode ter havido menor relevância dessas variáveis para explicar a sensação térmica. Porém, o fato de a variável temperatura do ar ter sido um pouco mais influente para a base de dados analisada não minimiza a importância da utilização dos índices, que são primordiais para todo estudo de calibração da faixa de conforto térmico, além de refletir um efeito mais amplo e dinâmico para um conjunto de variáveis ambientais e individuais.

Do ponto de vista estatístico, verificou-se que a natureza da relação entre a escala de sensação térmica e cada uma das variáveis preditoras analisadas (PET, UTCI e Temperatura do Ar) é não linear, mais próxima de uma curva sigmoide. Desse modo, optou-se por ajustar um modelo não linear logístico de 4 parâmetros, com ajuste dos escores de sensação térmica entre -0,5 e +0,5. Com este modelo foi obtido apenas o limite superior da faixa de conforto térmico, igual a 24,66°C para o índice PET, a 25,97°C para o índice UTCI e a 25,58°C para a Temperatura do Ar (T_a). A correlação entre UTCI x T_a (0,92) foi maior que a correlação entre PET x T_a (0,86), justificando assim a maior similaridade de valores entre UTCI e T_a . No entanto, era esperado que PET e UTCI fossem mais similares que UTCI e T_a , já que houve uma maior correlação entre UTCI x PET (0,96).

Segundo as duas métricas utilizadas para comparação dos modelos (AIC e porcentagem de classificações corretas), para o método não linear logístico de 4 parâmetros, as maiores proporções de classificações corretas da sensação térmica foram obtidas para a temperatura do ar e UTCI, respectivamente.

Os modelos logito e probito foram aplicados à calibração de acordo com o método baseado nas probabilidades pontuais das categorias (Método 1) e método baseado nas probabilidades cumulativas (Método 2). Nota-se que os modelos logito e probito produziram resultados similares e os valores calculados do AIC demonstraram que não há diferenças entre ambos. Comparando as faixas obtidas pelos métodos 1 e 2 nos modelos logito e probito, o método 2 produziu faixas mais estreitas que o método 1. Pode-se dizer que utilizar a faixa de conforto térmico mais estreita no âmbito do planejamento de praças e locais abertos mais confortáveis termicamente tem mais chances de gerar imprecisões, já que o clima urbano é dinâmico, depende de vários fatores, tanto do ambiente quanto do indivíduo e, a amostra contempla apenas uma parte da população.

Segundo a métrica da porcentagem de classificações corretas, o método 1 mostrou-se superior ao método 2, independente da variável preditora considerada e do modelo ajustado, probito ou logito. Embora o método 1 tenha se mostrado superior quanto a este critério, o método 2 tem a vantagem de resultar em faixas neutras de conforto

térmica comparáveis, mesmo quando elas são obtidas a partir do ajuste de modelos com diferentes números de categorias de sensação térmica.

Este estudo poderá auxiliar, essencialmente, na aplicação e análise dos modelos logito e probito com ajustes pelo método 1 e 2, visto que cada método possui exclusivos benefícios, e estes se mostram válidos como contribuições para futuros estudos.

Sugere-se para futuros estudos:

- Avaliar a influência do tamanho da amostra na estimação das faixas de conforto térmico;
- Comparar os diferentes métodos de obtenção da faixa neutra de conforto térmico, considerando como variável resposta outros tipos de julgamento do estado térmico pessoal expressos na ISO 10551 (1995), como a avaliação e preferência térmica ao invés da percepção de sensação térmica;
- Calibrar os índices pelos métodos de ajuste 1 e 2 dos modelos ordinais (logito e probito), pois ainda são pouco utilizados.

REFERÊNCIAS

- Agresti, A. **Analysis Ordinal of Categorical Data**. 2ª edição. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- American Society of Heating and Air Conditioning Engineers – ASHRAE. **Physiological principles for comfort and health**. In: Handbook Fundamentals. Atlanta, 2001.
- BALLANTYNE, E.R.; HILL, R.K.; SPENCER, J.W. **Probit analysis of thermal sensation assessments**. Int. J. Biometeorol, 1977.
- BLAZEJCZYK, K. et al. **Comparison of UTCI to selected thermal indices**. International Journal of Biometeorology, v. 56, n. 3, p. 515–535, 26 maio 2012.
- BRAZEL, A. J. **Urban climate and physical geography: A response to Ashmore and Dodson**. Canadian Geographer, v. 61, n. 1, p. 112–116, 2017.
- BRÖDE, P.; FIALA, D.; BŁAŻEJCZYK, K.; HOLMER, I.; JENDRITZKY, G.; KAMPMANN, B.; TINZ, B.; HAVENITH, G. **Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI)**. International Journal of Biometeorology, v. 56, n. 3, p. 481-494, 2012.
- CANAN, F., GOLASI, I., CIANCIO, V., COPPI, M., & SALATA, F. **Outdoor thermal comfort conditions during summer in a cold semi-arid climate**. A transversal field survey in Central Anatolia (Turkey). Building and Environment, USA, v. 148, p. 212-224, 2019.
- CHENG, V., NG, E., CHAN, C., GIVONI, B. **Outdoor thermal comfort study in a sub-tropical climate: a longitudinal study based in Hong Kong**. Int J Biometeorol, 2012.
- CHEUNG, P. K.; JIM, C. Y. **Comparing the cooling effects of a tree and a concrete shelter using PET and UTCI**. Building and Environment, v. 130, p. 49–61, 2018.
- COHEN, P., POTCHTER, O., MATZARAKIS, A. **Human thermal perception of Coastal Mediterranean outdoor urban environments**. Applied Geography. 2013.
- Christensen RHB (2019). “ordinal—Regression Models for Ordinal Data .” R package version 2019.12-10. <https://CRAN.R-project.org/package=ordinal>.
- Efron, B., & Tibshirani, RJ (1993). **Uma introdução ao bootstrap**. New York City, NY: Chapman & Hall.
- FANGER, P. O. **Thermal Comfort - Analysis and Application in Engineering**. Copenhagen, 1970.
- FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S. DE; KATZSCHNER, L. **Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil**. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 9, n. suppl 1, p. 255–270, 2017.
- FROTA; SCHIFFER. **Manual de Conforto Térmico**. Studo Nobel, 5ª edição.
- GAGGE, A. et al. **A standard predictive index of human response to the thermal environment**. ASHRAE Trans, 92, p. 709-731, 1986.
- GIVONI, B. **Comfort, climate analysis and building design guidelines**. Energy and Buildings, v. 18, p. 11–23, 1992.
- GOUVÊA, M. L. **Cenários de impacto das propriedades da superfície sobre o conforto térmico humano na cidade de São Paulo**. Departamento de Ciências Atmosféricas, v. Mestrado, p. 87, 2007.
- HAIR; BLACK; BABIM; ANDERSON; TATHAM. **Análise Multivariada de Dados**. 6ª Edição. Porto Alegre. Bookman, 2009.
- HENG, S. L., CHOW, W. T. L. **How ‘hot’ is too hot? Evaluating acceptable outdoor thermal comfort ranges in an equatorial urban park**. International Journal of Biometeorology. 2019.
- HIRASHIMA, S. Q. DA S. **Calibração do índice de conforto térmico temperatura fisiológica**

equivalente (PET) para espaços abertos do Município de Belo Horizonte, MG. Dissertação de Mestrado, p. 225, 2010.

HIRASHIMA, S. Q. S. **Percepção sonora e térmica e avaliação de conforto em espaços urbanos abertos do município de Belo Horizonte – MG, Brasil.** São Paulo, 2014. 248f. Tese (Doutorado em arquitetura e urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

HIRASHIMA, S. Q. S.; ASSIS, E. S.; NIKOLOPOULOU, M. **Daytime thermal comfort in urban spaces: A field study in Brazil.** Building and Environment, v. 107, p. 245-253, 2016.

HIRASHIMA, S. Q. S.; KATZSCHNER, A.; FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S.; KATZSCHNER, L. **Thermal comfort comparison and evaluation in different climates.** Urban Climate, v. 23, p. 219–230, 2018.

HÖPPE, P. **Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort.** Energy and Buildings, v. 34, n. 6, p. 661–665, 2002.

Höppe P. **The Physiological Equivalent Temperature (PET): An Example of a State-of-the-Art Outdoor Thermal Comfort Index,** presented at Internet Workshop on Windchill, 2000.

HÖPPE, P. R. **The physiological equivalent temperature: a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment.** International Journal of Biometeorology, 43, p. 71- 75, 1999.

INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMETEOROLOGY – ISB. **Commission 6 for the development of a Universal Thermal Climate Index UTCI.** Meeting Report, June 7- 8, 2001, Freiburg, Germany. Freiburg: ISB Commission, 2001.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 10551. **Ergonomics of the thermal environments – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales.** 1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7726. **Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities.** 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7730: **Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.** 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8896. **Ergonomics of the thermal environments – Determination of thermal metabolic rate.** 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 9920. **Ergonomics of the thermal environments – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble.** 2007.

INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMETEOROLOGY – ISB. **Commission 6 for the development of a Universal Thermal Climate Index UTCI.** Meeting Report, June 7-8, 2001, Freiburg, Germany. Freiburg: ISB Commission, 2001.

INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMETEOROLOGY - ISB. Report for 2003. Genebra, ISB Commission 6, 2003.

JOHANSSON, E.; THORSSON, S.; EMMANUEL, R.; KRÜGER, E. **Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies - The need for standardization.** Urban Climate, v. 10, n. P2, p. 346–366, 2014.

KÁNTOR, N., KOVÁCS, A., TAKÁCS, A. **Seasonal differences in the subjective assessment of outdoor thermal conditions and the impact of analysis techniques on the obtained results.** Int J Biometeorol. 2016.

KOTTHAUS, S.; GRIMMOND, C. S. B. **Identification of Micro-scale Anthropogenic CO₂, heat and moisture sources - Processing eddy covariance fluxes for a dense urban environment.** Atmospheric Environment, v. 57, p. 301–316, 2012.

KRÜGER, E. L.; SILVA, T. J. V.; HIRASHIMA, S. Q. S.; CUNHA, E. G. da; ROSA, L. A. **Calibrating UTCI'S comfort assessment scale for three Brazilian cities with different climatic conditions.** International Journal of Biometeorology. 2020.

KRÜGER, E. L.; ROSSI, F. A.; CRISTELI, P. S.; SOUZA, H. **Calibração do índice de conforto para**

espaços externos. p. 135–148, 2018.

KRÜGER, E. L. et al. **Estudo de conforto em espaços abertos em região de clima temperado: o caso de Glasgow, Reino Unido.** Ambiente Construído, v. 12, n. 1, p. 7–25, 2017.

KRÜGER, E., ROSSI, F., DRACH, P. **Calibration of the physiological equivalent temperature index for three different climatic regions.** Int J Biometeorol, 2017.

LAI, D. et al. **A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces.** Science of the Total Environment, v. 661, p. 337–353, 2019.

LAI, D.; GUO, D.; HOU, Y.; LIN, C.; CHEN, Q. **Studies of outdoor thermal comfort in northern China.** Building and Environment . 2014.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. DE A. **Fundamentos de Metodologia Científica.** 5ª ed. São Paulo: [s.n.].

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** São Paulo: PW. Editores, 1997.

LIN, T. P. **Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions.** Building and Environment, v. 44, n. 10, p. 2017–2026, 2009.

LEVINE, D. M. et al. **Estatística - Teoria e Aplicações.** Rio de Janeiro: LTC (Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA), 2008.

LUCCHESI, J. R. **Influência das Condições Microclimáticas no Conforto e Adaptação Térmica : o Estudo de Caso de uma Praça Pública em Campo Grande-MS.** International Journal of Energy and Environment, Volume 7.2016.

LUCCHESI, J.R.; ANDREASI, W.A. Designing thermally pleasant open areas: the influence of microclimatic conditions on comfort and adaptation in Midwest Brazil. J.Sustain. Dev., v. 10, n. 4, p. 1–11, 2017.

LUCIO, P.S.; TOSCANO, E. M. M.; ABREU, M. L. **Caracterização de séries climatológicas pontuais via análise canônica de correspondência. Estudo de caso: Belo Horizonte - MG (Brasil).** Rev. Bras. Geof. vol.17 n.2-3 São Paulo July/Nov. 1999.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; IZIMON, M. G. Applications of a Universal Thermal Index: physiological equivalent temperature. International Journal of Biometeorology, Lisse, v. 43, p. 76-84, 1999.

MONTEIRO, LEONARDO M; ALUCCI, M. P. **Índices de Conforto Térmico em Espaços Urbanos Abertos.** Forum Patrimônio. v.2, n.2. 2011.

MONTEIRO, C. A. DE F. **Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos de clima urbano no Brasil.** Geosul, v. 5, n. 9, p. 7–19, 1990.

MONTEIRO L. M., DUARTE D., GONÇALVES J., A. M. P. et al. **Conforto térmico como condicionante do projeto arquitetônico-paisagístico: o caso dos espaços abertos do novo centro de pesquisas da Petrobras no Rio de Janeiro.** CENPES II. Ambiente Construído, 2008.

MONTEIRO, L. M. **Modelos preditivos de conforto térmico: Quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos.** São Paulo, p. 382, 2008.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **Índices de conforto térmico em espaços urbanos abertos.** Fórum Patrimônio, 2010.

NDETTO, E.; MATZARAKIS, A. **Assessment of human thermal perception in the hothumid climate of Dar es Salaam, Tanzania.** Int. J. Biometeorol., v. 61, p. 69–85, 2017.

NIKOLOPOULOU, M. et al. **Pedestrians' perception of environmental stimuli through field surveys: Focus on particulate pollution.** Science of the Total Environment, v. 409, n. 13, p. 2493–2502, 2011.

NIKOLOPOULOU, M.; BAKER, N.; STEEMERS, K. **Thermal comfort in outdoor urban spaces: Understanding the Human parameter.** Solar Energy, v. 70, n. 3, p. 227–235, 2001.

NINCE, P. C. C.; MUSIS, C. R.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S.; NOGUEIRA, M. C. J. A. Usos dos

Índices PET e UTCI na avaliação do conforto termal no campus da UFMT em Cuiabá - MT. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 9, p. 2026-2036, 2013.

PANTAVOU, K., SANTAMOURIS, M., ASIMAKOPOULOS, D., THEOHARATOS, G. **Empirical calibration of thermal indices in an urban outdoor Mediterranean environment**. *Building and Environment*. 2014.

PANTAVOU, K. et al. **Thermal sensation and climate: a comparison of UTCI and PET thresholds in different climates**. *International Journal of Biometeorology*, v. 62, n. 9, p. 1695–1708, 2018.

R Core Team (2020). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RIBEIRO, K. F. A. **Calibração do índice de conforto térmico PET (Temperatura Fisiológica Equivalente) em espaços abertos para a cidade de Cuiabá-MT**. Tese para obtenção de título de Doutor em Física Ambiental. Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso. 2019.

ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L.; BRÖDE, P. **Definition of thermal comfort and discomfort ranges for open spaces in Curitiba, PR, with the UCTI index**. *Ambiente Construído*, v. 12, n. 1, p. 41–59, 2012.

RUAS, Á. C. **Conforto térmico em locais de trabalho**. Ministério do Trabalho, p. 0–97, 1999.

SALATA, F., GOLASI, I., DE LIETO VOLLARO, R., DE LIETO VOLLARO, A. **Outdoor thermal comfort in the Mediterranean area. A transversal study in Rome, Italy**. *Build Environ* 96:46–61. 2016.

SILVA, E. L. DA; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. *Educação e Pesquisa*, v. 29, n. 1, p. 55–77, 2005.

SILVA, F. T.; ALVAREZ, C. E. **An integrated approach for ventilation's assessment on outdoor thermal comfort**. *Building and Environment*, v. 87, p. 59-71, 2015.

SHARMIN, T.; STEEMERS, K.; HUMPHREYS, M. **Outdoor thermal comfort and summer PET range: A field study in tropical city Dhaka**. *Energy & Buildings*, v. 198, 2019.

SOUZA, S. **Avaliação Do Desempenho Térmico Nos Microclimas Das Praças: Piedade E Visconde De Cayrú, Salvador/ Ba**. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental Urbana, Stricto-sensu, nível mestrado, da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. 2010.

SPAGNOLO, J., DE DEAR, R.J. **A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney, Australia**. *Building and Environment*. 2003, 38 (5), 721-738.

SILVA, T. J. V. **Calibração do Universal Thermal Climate Index (UTCI) para Espaços Abertos do Município de Belo Horizonte , Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do CEFET-MG . 2019.

XU, M.; HONG, B.; MI, J.; YAN, S. **Outdoor thermal comfort in an urban park during winter in cold regions of China**. *Sustainable Cities and Society*, v. 43, p. 208–220, 2018.