

REVISTA DO DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

Universidade de São Paulo

www.revistas.usp.br/rdg - ISSN 2236-2878

Volume Especial do II Workshop do Programa de Pós-Graduação em Geografia Física (2018)

DOI: 10.11606/rdg.v0ispe.140606

Calibração das Faixas de Conforto Térmico Humano para Espaços Abertos em Clima Subtropical

Calibration of Thermal Comfort Classes for Open Spaces in Subtropical Climate

João Paulo Assis Gobo¹, Emerson Galvani², Cássio Arthur Wollmann³, Fabio Luiz Teixeira Gonçalves⁴

¹ Universidade de São Paulo, jpgobo@usp.br

² Universidade de São Paulo, egalvani@usp.br

³ Universidade Federal de Santa Maria, cassio_geo@yahoo.com.br

⁴ Universidade de São Paulo, fabio.goncalves@iag.usp.br

Recebido (Received): 14/11/2017

Aceito (Accepted): 03/02/2018

Resumo: O índice conforto térmico tem sido utilizado com a finalidade de avaliar a percepção média das pessoas com relação às condições de tempo atmosférico em diversas regiões do globo, mas muito pouco com respeito à região subtropical do Brasil, em particular no Sul do Brasil. Dessa forma, neste estudo buscou-se definir uma faixa de conforto térmico adequada para residentes da cidade de Santa Maria, no Rio Grande do Sul, baseado na aplicação de questionários de percepção/sensação dos habitantes simultâneo ao registros de dados meteorológicos entre os dias 05 de agosto a 07 de agosto de 2015, de 17 de janeiro a 19 de janeiro de 2016 e de 06 de julho a 08 de julho de 2016. Foram coletados dados primários de temperatura do ar, temperatura de globo cinza, umidade relativa do ar, velocidade do vento, rajada do vento, radiação solar global e precipitação. As entrevistas foram realizadas com pessoas com idade entre 18 e 60 anos, com cobertura corporal entre 0,5 e 1,0 clo. Neste estudo concluiu-se que a modelagem estatística mostrou-se eficaz na determinação das faixas de conforto térmico adequadas aos padrões climáticos e a preferência térmica da população de Santa Maria, Rio Grande do Sul. No entanto, a partir das análises estatísticas aplicadas, pode-se afirmar que nenhum dos referidos índices, como originalmente construídos, é de fato ideal para explicar o conforto térmico em Santa Maria, sendo necessária a adaptação destes, ou construção de um novo índice.

Palavras-Chave: Clima Subtropical; Faixas de Conforto Térmico; Sensação Térmica.

Abstract: Thermal comfort index has been used to evaluate the average perception of people regarding weather conditions in several regions of the globe, although very little with respect to the subtropical region of Brazil, particularly in southern Brazil. Therefore, this study aimed to define a range of thermal comfort suitable for residents of the Santa Maria city, Rio Grande do Sul, based on perception / feeling questionnaires to the inhabitants, simultaneously to the meteorological data records between days 05 From August to August 7, 2015, from January 17 to January 19, 2016 and from July 6 to July 8, 2016. Primary data were collected on air temperature, gray globe temperature, relative humidity, wind speed, wind gust, global solar radiation and rainfall. Interviews were conducted on people aged between 18 and 60 years, with body coverage between 0.5 and 1.0 clo. In this study, it was concluded that the statistical modeling was effective in determining the thermal comfort ranges adequate to the climatic patterns and the thermal preference of the population of Santa Maria, Rio Grande do Sul. However, based on the statistical analysis applied, the conclusion is that none of these indexes, as originally constructed, in fact ideal for explaining the thermal comfort in Santa Maria, being necessary the adaptation of these, or a new index construction.

Keywords: Subtropical Climate, Thermal Comfort Ranges, Thermal Sensation.

1. Introdução

O conceito de conforto térmico está intimamente relacionado ao estresse térmico. Pesquisadores exploraram durante décadas maneiras de prever a sensação térmica de pessoas em seus ambientes típicos com base em variáveis pessoais, ambientais e fisiológicas que influenciam o conforto térmico. Como resultado, vários modelos matemáticos que simulam a resposta térmica dos ocupantes em seu ambiente foram desenvolvidos.

Os modelos de previsão de conforto térmico usam uma escala de sensibilidade térmica de sete ou nove pontos para a avaliação da percepção média das pessoas com relação às condições de tempo atmosférico em espaços abertos. Assim, diversas faixas de conforto térmico humano já foram estabelecidas ou adaptadas nos últimos anos (HÖPPE, 2002; CHENG; NG, 2006; GULYAS *et al.*, 2006; MONTEIRO; ALUCCI, 2007; BRÔDE *et al.*, 2012; ROSSI *et al.*, 2012; PANTAVOU *et al.*, 2013; LAI *et al.*, 2014).

Comumente, os instrumentos utilizados para a construção desse tipo de escala consistem em um questionário, com perguntas sobre as impressões pessoais dos respondentes quanto ao tempo atmosférico no momento da sua abordagem, aliado a uma estação meteorológica, que mede diversos atributos climáticos, como temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, simultaneamente à aplicação do questionário (ISO 10551, 1995; ISO 7726, 1998; ISO 8996, 2004; ISO 9920, 2007; JOHANSSON *et al.*, 2014).

O método mais comum para modelar a relação da sensação térmica das pessoas em campo com os vários elementos observados é a regressão múltipla. Na regressão linear, a variável dependente é considerada como contínua e implica a hipótese subjacente de igualdade de distâncias entre as categorias (NIKOLOPOULOU *et al.*, 2011). No entanto, na variável dependente a sensação térmica é uma variável ordinal e a relação entre categorias adjacentes é desconhecida, tornando a regressão logística ordinal o método mais apropriado para esse tipo de dados (NIKOLOPOULOU *et al.*, 2011).

Compreender a forma como as pessoas percebem e interagem com o seu ambiente térmico é fundamental no planejamento e na tomada de medidas adequadas para minimizar a exposição ao risco térmico através de sistemas de alerta (LOWE, EBI, FORSBERG; 2011), bem como para melhorar o ambiente térmico por meio da configuração correta dos espaços urbanos e do uso de materiais adequados para a construção em espaços externos, de acordo com as características bioclimáticas e de preferência térmica da população residente (SANTAMOURIS *et al.*, 2012).

Estudos anteriores ao trabalho de Santamouris *et al.* (2012) confirmam que indivíduos adaptam-se a diferentes condições externas através de mudanças comportamentais e posturais, aclimatação e percepção das condições externas (DE DEAR; BRAGER, 1998; 2001). Logo, estudar a adaptação psicológica e ambiental dos indivíduos analisados é necessário para incentivar o melhor uso dos espaços ao ar livre.

Estudos mostram diferenças no conforto térmico externo entre distintas zonas climáticas (KÁNTOR *et al.*, 2016; HIRASHIMA *et al.*, 2016; KRÜGER, ROSSI, DRACH; 2017) e sugerem a necessidade de pesquisas de campo adicionais sobre percepção humana subjetiva em distintas zonas climáticas (YANG, WONG, JUSUF; 2013), sendo a maioria dos levantamentos existentes conduzida, principalmente, em regiões de clima temperado ou tropical. Logo há uma lacuna existente quanto a estudos que elucidem as questões de conforto térmico em climas subtropicais, climas estes característicos das áreas geográficas a Sul do Trópico de Capricórnio e a Norte do Trópico de Câncer, com temperaturas médias anuais nunca superiores a 20°C e temperatura mínima do mês mais frio nunca menor que 0°C (BARRY; CHORLEY, 2013).

Spagnolo *et al.* (2003) examinaram vários locais ao ar livre e semiexteriores em Sydney e constataram que o ambiente externo tem uma "zona de conforto" mais ampla do que o ambiente interno. Lin (2009) estudou uma praça pública em Taiwan, e os resultados mostraram que os intervalos das classes de conforto térmico e a temperatura neutra para indivíduos em Taiwan eram maiores do que aqueles para pessoas em uma região temperada.

Lucchese *et al.* (2016) estudaram o conforto térmico de usuários em uma praça pública de Campo Grande - MS durante estações quentes e frias e compararam a habilidade preditiva dos índices PET, UTCI, TEP, YDS e PMV. Os autores observaram que os índices selecionados não previram de forma eficiente os votos de sensação térmica dos habitantes locais, apenas PET e UTCI tiveram desempenhos relativamente satisfatórios. Os votos subjetivos adquiridos permitiram, no entanto, a proposta de calibração do índice PET (faixa de conforto de 21-27°C PET) para Campo Grande.

Estudos mostram diferenças no conforto térmico externo entre distintas zonas climáticas como, por exemplo, Kántor *et al.* (2012), que em seus testes descobriram que a temperatura equivalente fisiológica neutra (PET) em Taiwan diferenciou-se daquela observada na Hungria. Esses estudos sugerem a necessidade de pesquisas de campo adicionais sobre percepção humana subjetiva no contexto externo (YANG, WONG, JUSUF; 2013), e a maioria dos levantamentos existentes foi conduzida principalmente em regiões de clima temperado ou tropical. No entanto, ao analisar a literatura, nota-se que nenhuma escala desse tipo foi criada ou adaptada para a região subtropical do Brasil, utilizando-se como base alguns dos principais índices de conforto térmico.

Entre os índices mais citados na literatura consultada, tanto em trabalhos em âmbito nacional como em âmbito internacional, observou-se que apenas o Índice Termoclimático Universal (UTCI - Universal Thermal Climate Index) (ISB - International Society of Biometeorology) e o Índice Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) (HÖPPE, 1999) foram utilizados por Rossi *et al.* (2012) para a adaptação das faixas de conforto térmico em Curitiba - PR. No entanto, nenhuma escala deste tipo foi criada na região subtropical do Brasil utilizando-se como base os índices de Temperatura Efetiva (TE) de Houghten e Yagloglou (1923) e índice de Temperatura Efetiva com Vento (TEv), apenas o Índice Termoclimático Universal (UTCI - Universal Thermal Climate Index) (ISB -

International Society of Biometeorology) foi utilizado por Rossi *et al.* (2012) para a adaptação das faixas de conforto térmico em Curitiba-PR. Dessa forma, buscou-se definir uma faixa de conforto térmico adequada para residentes da cidade de Santa Maria, no Rio Grande do Sul, baseado na aplicação de questionários de percepção/sensação dos habitantes simultâneo aos registros dos atributos meteorológicos do local.

2. Materiais e Métodos

Para executar a proposta de definirem-se as faixas de conforto térmico adequadas a sensação térmica da população de Santa Maria (**Figura 1**), foram coletados dados meteorológicos e de sensação térmica necessários para o estudo. Para tanto, utilizou-se de uma estação meteorológica automática (EMA) de marca Campbell CR-1000 com altura máxima de 2,0m em tripé móvel de alumínio (**Figura 1**), contendo os seguintes sensores: Pluviômetro de Bâscula; Sensor de Radiação Global; Sensor de Temperatura e Umidade do Ar; Sensor de Velocidade e Direção do Vento; Termômetro de Globo Cinza.

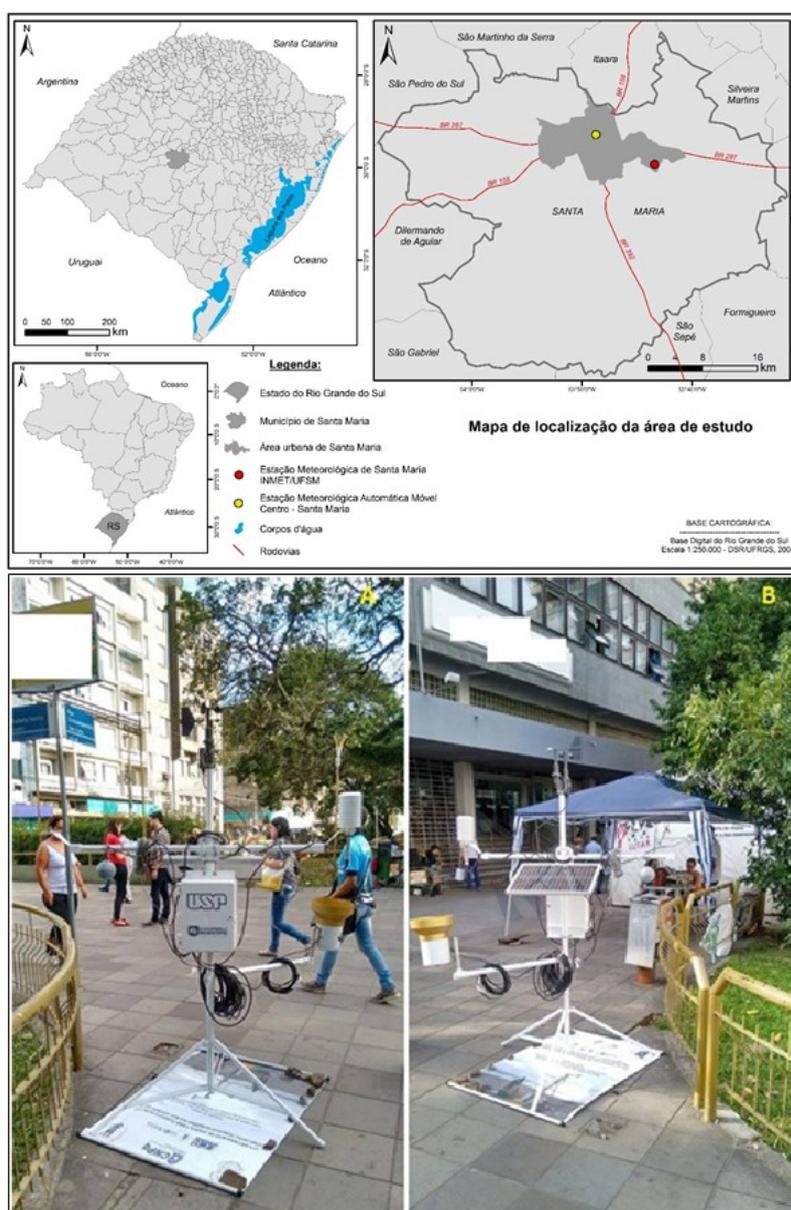


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo e localização da estação meteorológica automática no centro de Santa Maria-RS (A-Visada norte; B-visada sul).

Foram coletados dados primários de temperatura do ar, temperatura de globo cinza – uma vez que a estação ficou estabelecida em área aberta com incidência de radiação solar direta (ISO 7726, 1998) – umidade relativa do ar, velocidade do vento, rajada do vento, radiação solar global e precipitação.

Os sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar estavam posicionados a uma altura de 1,5m do solo, enquanto o sensor de velocidade e direção do vento foi instalado a 2,0m de altura no topo da estrutura.

A estação meteorológica foi instalada em uma área pavimentada da Praça Saldanha Marinho, no centro da cidade de Santa Maria, onde transita um fluxo intenso de pessoas (**Figura 1**), e os dados foram registrados a cada 10 (dez) minutos no período de agosto de 2015 e a cada 20 (vinte) minutos nos demais períodos.

O período de coletas em campo foi entre os dias 05 de agosto a 07 de agosto de 2015, 17 de janeiro a 19 de janeiro de 2016 e de 06 de julho a 08 de julho de 2016, sendo feitas coletas de dados meteorológicos e entrevistas com a população local entre às 09h e 17h do horário solar em cada um dos referidos dias e períodos da pesquisa.

Nos dias de pesquisa de campo, uma situação climática atípica, popularmente conhecida como “veranico de inverno”, ocasionado devido a um bloqueio atmosférico foi observada entre 5 e 7 de agosto de 2015, caracterizada por uma persistente anomalia de alta pressão (cinto anticiclone ao redor de 30° de latitude), com deslocamento relativamente lento de altas pressões, podendo persistir por vários dias (GOBO *et al.*, 2017). Durante os dias de pesquisa de campo de janeiro de 2016, foi possível identificar um padrão compatível com as médias normais climatológicas de Santa Maria para este mês, apresentando temperaturas elevadas com máximas acima de 32 ° C. Na análise do inverno, em julho de 2016, foram observadas temperaturas acima da média da normal climatológica para Santa Maria durante este mês, principalmente no primeiro dia de análise, mas com períodos de temperaturas dentro do intervalo esperado neste período.

Durante a análise de agosto de 2015 foram entrevistadas 6 (seis) pessoas a cada 10 (dez) minutos (em conformidade com o período de registro dos dados meteorológicos pela estação), e 6 pessoas a cada 20 minutos nos demais períodos (janeiro e julho).

Definiu-se que seriam efetivamente entrevistadas apenas pessoas residentes no município há mais de 1 (um) ano, em função do histórico térmico dos indivíduos e da memória ambiental dos mesmos, como foi alertado na pesquisa de Nikolopoulou (2001).

Também foram limitadas as entrevistas a pessoas com idade entre 18 e 60 anos, que não aparentavam sobrepeso e/ou subpeso, com padrão de área de corpo coberta estabelecido entre 0,5 e 1,0 clo, o que correspondem, respectivamente, a um indivíduo de calça jeans e camiseta e um indivíduo de terno (ISO 9920, 2007), com um padrão de atividade física de 300W para cada indivíduo entrevistado, uma vez que só foram entrevistadas pessoas em movimento (caminhando) (ISO 8996, 2004).

Quanto ao questionário aplicado, foi utilizado uma adaptação do modelo estabelecido pela norma ISO 10551 (1995), onde a pergunta base do estudo era:

Pergunta- Neste exato momento, eu estou sentindo:

() Muito frio; () Frio; () Um pouco de frio; () Nem frio nem calor;

() Um pouco de calor; () Calor; () Muito calor.

Quanto aos dados da percepção térmica da população, as diferentes respostas subjetivas do questionário receberam um valor numérico de acordo com a escala da ASHRAE/ANSI 55 (2013) que varia entre -3, -2, -1, 0, 1, 2 e 3 referentes às respostas perceptivas de: Muito Frio -3; Frio -2; Um Pouco De Frio-1; Nem Frio Nem Calor 0; Um Pouco De Calor 1; Calor 2; Muito Calor 3.

Os dados meteorológicos da EMA-Móvel foram utilizados para o cálculo dos índices UTCI, TE e TEv. Os índices TE e TEv, por meio das Equações 1 e 2. Já o índice UTCI foi calculado por meio do software Bioklima 2.4, disponível no endereço eletrônico <<http://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>>.

Equação 1:

para $v > 0.2$ m/s

$$TEv = 37 - \frac{(37 - T)}{[0,68 - 0,0014RH + \frac{1}{1,76 + 1,4v^{0,75}}]} - 0,29T(1 - \frac{RH}{100})$$

Equação 2:

para $v \leq 0.2$ m/s

$$TE = T - 0,4 \cdot (T - 10) \cdot (1 - 0,01 \cdot UR)$$

Onde: T = Temperatura do ar (°C); UR = Umidade relativa (%); v = Velocidade do vento (m/s).

Após a obtenção dos referidos índices para os três períodos analisados (agosto de 2015, janeiro de 2016 e julho de 2017), optou-se por utilizar dois modelos de regressão linear múltipla (NETER, WASSERMAN, KUTNER; 1990) para se obter a adequação das faixas de conforto térmico de cada índice ao padrão médio de preferência térmica da população entrevistada em campo. Para tanto, elaborou-se um código de otimização da proporção de acertos dos modelos por meio de alterações nos pontos de corte (classes dos índices). A ideia do procedimento foi encontrar faixas com tamanhos que maximizem o número de pontos considerados acertos.

Buscou-se identificar se outros modelos mais elaborados poderiam apresentar proporções de acerto maiores. Para tanto, buscou-se o ajuste de um modelo de regressão logística multinomial particionado em regressões binomiais (NAKANO, PEREIRA; 2010). Com isso, as respostas eram vistas como categorias independentes que não respeitavam nenhuma ordem específica e o maior volume de respostas em certas categorias não influenciaria os resultados.

Posteriormente, foram testados procedimentos semelhantes com outros modelos, como por exemplo modelos lineares generalizados de Poisson e Gama (PAULA, 2013), ou modelos de regressão linear com interações entre as variáveis, entre outros. Como, apesar da maior complexidade, nenhum modelo conseguiu apresentar uma eficácia maior do que o apresentado, decidiu-se por manter o modelo linear.

Assim, foram definidos novos cortes para os índices UTCI, TE e TEv calculados para os dias observados. Para tanto, utilizou-se o algoritmo de otimização partindo dos pontos de corte originais dos índices.

Porém, para os índices baseados em analogia de temperaturas equivalentes (TE e TEv), não foi possível obter as faixas interpretativas originalmente propostas, devido ao fato de a interpretação do índice ser realizada, em princípio, por meio de analogias entre temperaturas, e não de escalas interpretativas. No entanto, optou-se pela utilização da classe de Missenard (1933) para o TE e da classe de Suping *et al.* (1992), adaptada por Maia e Gonçalves (2002) para São Paulo, para o TEv. Para o índice UTCI foram utilizadas as faixas de conforto térmico desenvolvidas pela ISB.

3. Resultados

Considerando a taxa de acerto obtida pelo modelo linear de aproximadamente 45%, os resultados do modelo logístico mostraram um índice de acerto semelhante a 45%. De fato, ao compararmos as estimativas dos dois modelos, como visto na **Figura 2**, vemos que elas são extremamente correlacionadas, com um coeficiente de correlação de Pearson de 98,9%.

Ao analisar a distribuição dos índices de conforto térmico calculados por meio das variáveis meteorológicas de cada instante em conjunto com as respostas dos entrevistados à “Pergunta”, pretendeu-se identificar um índice que conseguisse descrever de forma satisfatória o conforto térmico da população de Santa Maria.

O índice TEv (**Figura 3**) apresenta comportamento linear desejado (crescente), especialmente para os níveis frios. Apresenta problemas, porém, nos níveis quentes (1, 2 e 3), com pouca variação da mediana conforme as respostas tendem para o mais quente, especialmente comparando os valores correspondentes às respostas 1 (Um pouco de calor) e 2 (Calor). A variabilidade também se apresenta alta, principalmente nas observações correspondentes à categoria 0 (Nem frio nem calor), que se distribuem por quase todo o intervalo englobado pelas demais categorias.

O índice UTCI (**Figura 3**) apresenta pouca variação de mediana entre níveis para as categorias de frio (-3, -2 e -1). O número crescente de outliers, entretanto, indica um leve aumento na média. A categoria neutra (0) apresenta alta variabilidade neste índice, bem como as categorias de calor. Já o índice TE (**Figura 3**), apresenta tendência crescente e a variabilidade é ligeiramente menor nas categorias quentes (1 a 3), porém com um número maior de outliers, indicando que a amplitude é similar.

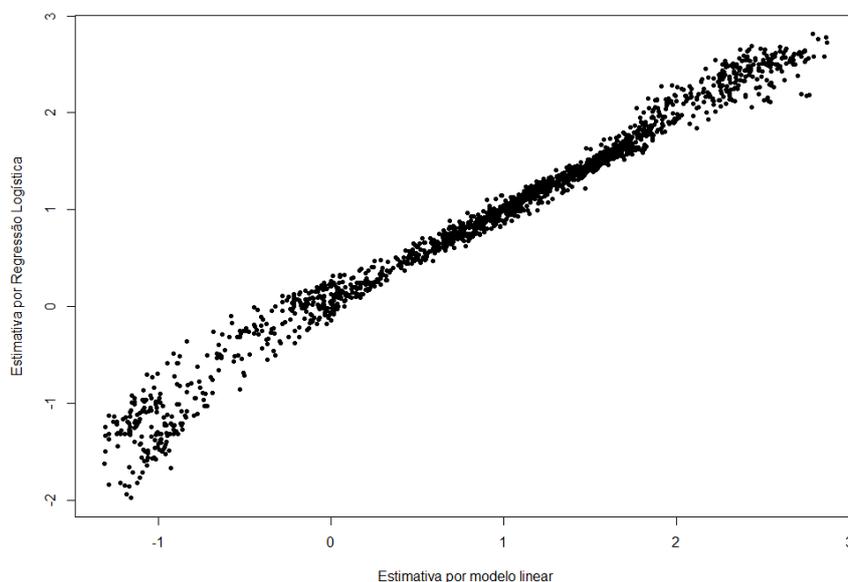


Figura 2: Comparação de estimativas do modelo de regressão linear múltipla com o modelo de regressão logística multinomial.

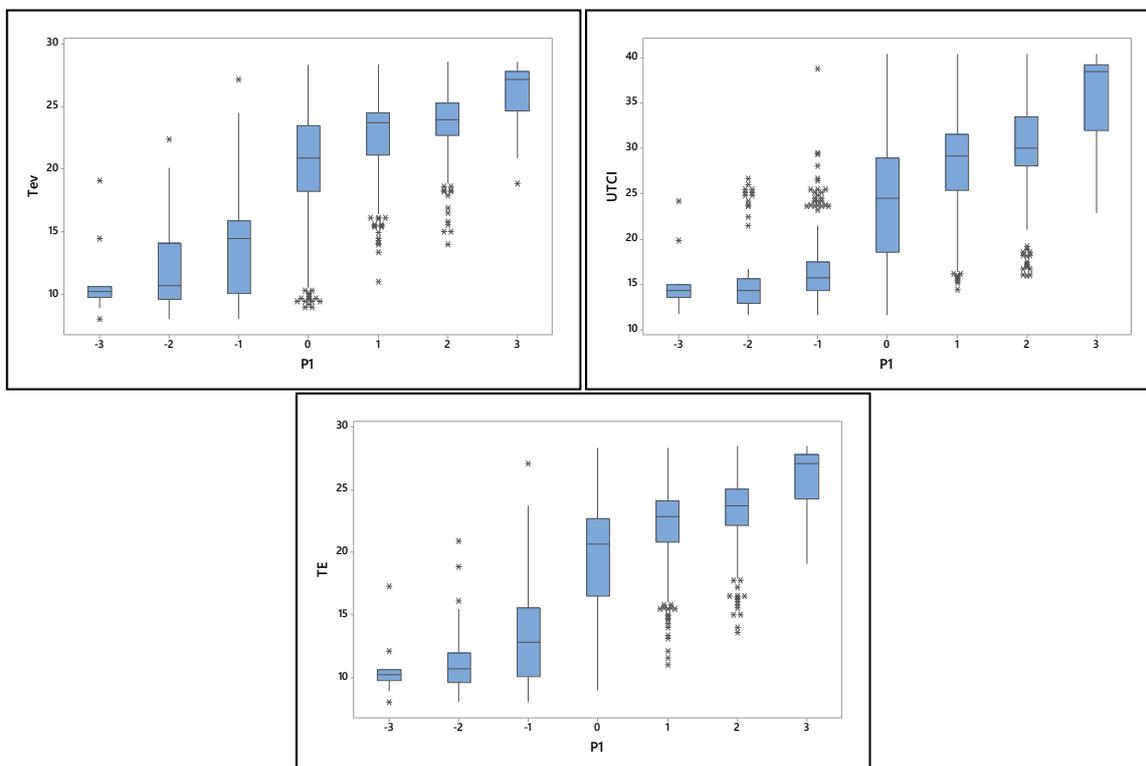


Figura 3: Boxplot comparativo das medições dos índices TEv, UTCI e TE de acordo com resposta à “Pergunta”.

Devido a impossibilidade da construção de um novo índice, adequado aos padrões climatológicos e subjetivos de Santa Maria, a definição de novos cortes para os índices previamente construídos e calculados para os dias observados torna-se uma solução eficaz. Assim, os valores otimizados constam na **Tabela 1** que ilustra a ideia do procedimento, que é encontrar faixas com tamanhos que maximizem o número de pontos considerados acertos. O índice UTCI foi o que melhor previu os votos de sensação térmica declarados pelos indivíduos entrevistados em campo (**Tabela 1**), seguido do TE e por último o TEv.

Assim como observado por Lucchese *et al.* (2016) para a cidade de Campo Grande - MS, a capacidade preditiva limitada dos índices analisados (precisão abaixo de 50%) não representa de forma eficiente os votos de sensação térmica dos respondentes. Então, foram definidos novos cortes para os índices a partir de dois modelos de regressão linear múltipla (NETER, WASSERMAN, KUTNER; 1990) com a utilização de um código de otimização da proporção de acertos dos modelos por meio de alterações nos pontos de corte.

Tabela 1: Classes associadas a cada intervalo do escore após cálculo dos pontos de corte otimizados e taxas de acerto dos índices.

Nível de conforto térmico	Escore	Índice	Taxa de acerto
Muito frio	$(-\infty ; -2,379]$	TEv	31,5%
Frio	$(-2,379 ; -1,335]$	UTCI	44,8%
Um pouco de frio	$(-1,335 ; -0,254]$	TE	45,6%
Nem frio nem calor	$(-0,254 ; 0,965]$		
Um pouco de calor	$(0,965 ; 1,412]$		
Calor	$(1,412 ; 2,040]$		
Muito calor	$(2,040 ; +\infty)$		

As taxas de acerto pós-otimização, apresentadas na **Tabela 1**, mostram a eficácia desse método, onde as proporções de acerto e de estimativas com até uma unidade de distância da classe declarada pelo respondente de cada índice, estão presentes na **Tabela 2**.

Tabela 2: Resultados das predições do Índice TEv, UTCI e TE utilizando os pontos de corte otimizados.

	TEv			UTCI			TE		
	Acertos	Diferença ≤ 1	Total	Acertos	Diferença ≤ 1	Total	Acertos	Diferença ≤ 1	Total
Ago/15	284 (33,1%)	700 (81,7%)	857	361 (42,1%)	638 (74,4%)	857	381 (44,5%)	661 (77,1%)	857
Jan/16	77 (17,8%)	256 (59,3%)	432	205 (47,5%)	350 (81,0%)	432	206 (47,7%)	355 (82,2%)	432
Jul/16	180 (41,8%)	366 (84,9%)	431	205 (47,6%)	388 (90,0%)	431	197 (45,7%)	393 (91,2%)	431
Total	541 (31,5%)	1322 (76,9%)	1720	771 (44,8%)	1376 (80,0%)	1720	784 (45,6%)	1409 (81,9%)	1720

Os pontos de corte obtidos para o índice TE por meio desse processo, encontram-se exposto na tabela a seguir, onde para o índice TE, foi encontrada uma zona de conforto entre 15 e 22 para Santa Maria (**Tabela 3**), com os extremos máximos e mínimos de 26 e 4, respectivamente.

Tabela 3: Pontos de corte entre as classes da variável Resposta à “Pergunta” calibrados para o índice TE.

TE Missenard (1933)		TE calibrado	
< 1	Muito frio	<4	Muito frio
1 – 9	Frio	4 – 8	Frio
9 – 17	Frio moderado	8 – 15	Um pouco de frio
17 – 21	Fresco	15 – 22	Nem frio nem calor
21 – 23	Confortável	22 – 23	Um pouco de calor
23 – 27	Quente	23 - 26	Calor
>27	Muito quente	> 26	Muito calor

Em comparação com os pontos de corte das faixas de conforto de Missenard (1933) para o índice TE, a calibração para Santa Maria apresenta uma diferença de 3°C a mais para a zona de conforto. Na comparação com a calibração do índice TE feita por Monteiro (2008) para São Paulo, observa-se uma diferença ainda maior, sendo a zona de conforto encontrada pelo referido autor para o referido índice de 21 a 25,5, e os limites máximos e mínimos para os cortes foram 33 e 13,5, respectivamente.

Na calibração para o UTCI, pelo fato de esse índice apresentar uma classe original de 11 faixas, há uma amplitude considerável entre os cortes máximo e mínimo calibrados, com valor mínimo de 12 e valor máximo de 36, com a zona de conforto encontrada entre 16 e 27 (**Tabela 4**).

Tabela 4: Pontos de corte entre as classes da variável Resposta à “Pergunta” calibrados para o índice UTCI.

UTCI Sociedade Internacional de Bioclimatologia - ISB (2006)		UTCI calibrado	
> 46	Extremo estresse para o calor		
38 a 46	Muito forte estresse para o calor		
32 a 38	Forte estresse para o calor	<12	Muito frio
26 a 32	Moderado estresse para o calor	12 – 15	Frio
18 a 26	Conforto térmico	15 – 16	Um pouco de frio
9 a 18	Sem estresse térmico	16 – 27	Nem frio nem calor
0 a 9	Pouco estresse para o frio	27 – 28	Um pouco de calor
0 a -13	Moderado estresse para o frio	28 – 36	Calor
-13 a -27	Forte estresse para o frio	>36	Muito calor
-27 a -40	Muito forte estresse para o frio		
<-40	Extremo estresse para o frio		

Ao analisar o UTCI para Curitiba, Rossi, Krüger e Bröde (2012) monitoraram o período de janeiro a agosto de 2009 e comprovaram a eficácia do índice UTCI na predição de graus de conforto/desconforto térmico sem a necessidade de calibração, uma vez que o menor valor quadrático médio dos erros observados em todos os subgrupos foi inferior a uma unidade na escala de sensação térmica de sete pontos. No entanto, as faixas de conforto térmico utilizadas como base para a pesquisa foram as de Bröde *et al.* (2011), e não as originais do ISB. Logo, a zona de conforto encontrada por Rossi, Krüger e Bröde (2012) foi de $15^{\circ}\text{C} < T_a < 24^{\circ}\text{C}$, que difere pouco, mas com menor amplitude para o calor do corte encontrado na calibração para Santa Maria.

Na calibração do índice TEv optou-se pela faixa interpretativa de Suping *et al.* (1992) adaptada por Maia e Gonçalves (2002), uma vez que esse também é um índice baseado em temperatura equivalente e não foi identificada sua faixa interpretativa original. Assim, o corte para o conforto térmico observado após a calibração foi de 15 a 22 (**Tabela 5**), distinto do corte de referência encontrado por Maia e Gonçalves (2002) para São Paulo, e ainda mais distinto se comparado ao trabalho de Monteiro (2008), que não utilizou uma faixa interpretativa de referência, tendo identificado a faixa de conforto entre 21 e 29 para São Paulo.

Tabela 5: Pontos de corte entre as classes da variável Resposta à “Pergunta” calibrados para o índice TEv.

TEv Suping <i>et al.</i> (1992) adaptado por Maia e Gonçalves (2002)		TEv calibrado	
<13	Muito frio		
13 a 16	Frio	< 7	Muito frio
16 a 19	Frio moderado	7 – 14	Frio
19 a 22	Ligeiramente frio	14 – 15	Um pouco de frio
22 a 25	Confortável	15 – 22	Nem frio nem calor
25 a 28	Ligeiramente quente	22 – 38	Um pouco de calor
28 a 31	Quente moderado	38 – 46	Calor
31 a 34	Quente	>46	Muito calor
>34	Muito quente		

Ao finalizar a calibração das faixas interpretativas para cada índice estudado, obteve-se uma melhora considerável nas taxas de acerto dos referidos índices. Como visto na **Tabela 1**, os índices apresentaram valores percentuais muito baixos de acerto em relação ao voto médio da população analisada. Após a calibração, o índice TEv que apresentou uma taxa de acerto de 31,5%, passou a ter uma taxa de 51,7%; o UTCI passou de 44,8% para 59,5%; e, por fim, o índice TE passou de 45,6% para 60,3%. O gráfico da **Figura 4** apresenta uma análise visual da distribuição percentual das faixas interpretativas de cada índice em relação ao número de ocorrências para cada uma dessas faixas durante todo o período analisado.

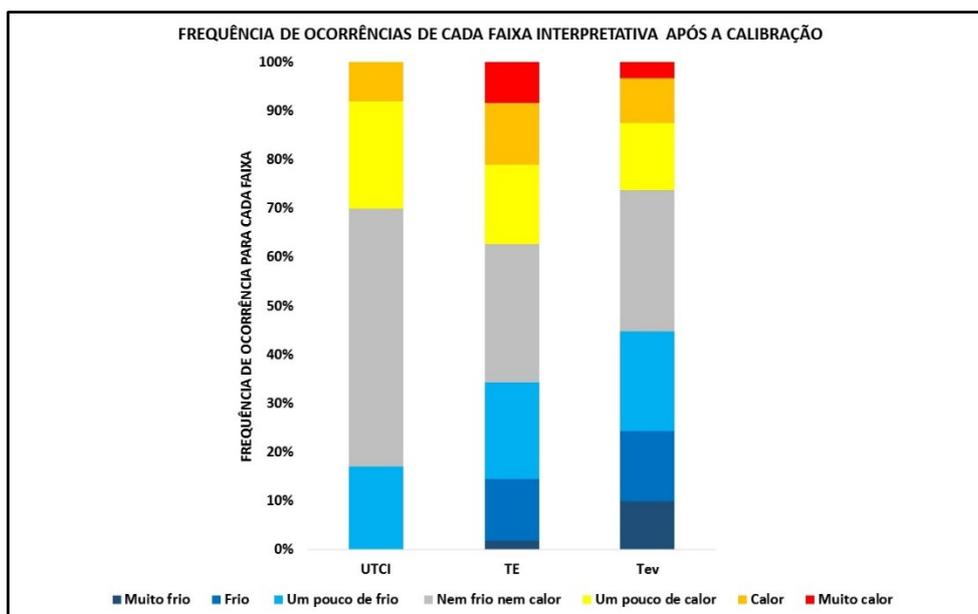


Figura 4: Gráfico da frequência de ocorrência para cada faixa interpretativa após a calibração durante todo o período de análise.

4. Considerações finais

Levando em conta o objetivo proposto, conclui-se que os escores, detalhados na **Tabela 1** da análise dos resultados, possibilitaram estimar o conforto térmico de um indivíduo num certo momento, dados os valores das variáveis climáticas observadas, o que de fato valida o método de regressão linear para determinar os cortes das faixas interpretativas de cada índice.

O principal aspecto negativo notado é a ausência de uma padronização dos protocolos utilizados para avaliar condições de conforto em espaços ao ar livre, dificultando a escolha do método de análise, bem como a comparação com outros trabalhos encontrados na literatura.

Por fim, fica evidente a necessidade de estudos mais aprofundados quanto à eficácia dos índices empregados neste capítulo para espaços urbanos abertos em clima subtropical, principalmente levando-se em consideração aspectos mais detalhados das características e preferências dos indivíduos entrevistados, como a distribuição demográfica local, a etnia, a distribuição socioeconômica e a história térmica, bem como o estilo de vida e a frequência do uso de ar condicionado, especialmente em locais com estações climáticas bem definidas como a área de estudo analisada. Todos esses cuidados, associados a um método padrão adequado, ficam como sugestão para estudos futuros que possam vir preencher as lacunas aqui deixadas.

REFERÊNCIAS

- ANSI/ASHRAE Standard 55. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: American society of heating, refrigerating, and air-conditioning engineers, 2013.
- BARRY R. G.; CHORLEY R. J. **Atmosfera tempo e clima**. Porto Alegre: Bookman, ed.9, 2013.
- BRÖDE, P.; KRÜGER, E. L.; ROSSI, F. A.; FAILA, D.; Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal climate index UTCI – a case study in Brazil. **Int. J. Biometeorol.** 56, p. 471–480, 2012.
- CHENG, V.; NG, E.; Thermal comfort in urban open spaces for Hong Kong. **Architectural Science Review**, 49(3), p. 236–242, 2006.
- DE DEAR, R.; BRAGER, G. S.; Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. **ASHRAE Trans**, v. 104, part 1A, p. 145-167, 1998.
- DE DEAR, R.; BRAGER, G.; The Adaptive Model of Thermal Comfort and Energy Conservation in the Built Environment, **International Journal of Bio-meteorology**, v. 45, p.100–108. 2001.
- GOBO, J. P. A.; BORGES, D. C.; BARATTO, J. ; SILVEIRA, T. S. ; ONCA, D. S. ; FARIA, M. R. ; GALVANI, E.; Avaliação da percepção climática de homens e mulheres e do conforto térmico em Santa Maria - RS. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 96, p. 31-50, 2017.

- GULYAS, A.; UNGER, J.; MATZARAKIS, A.; Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements. **Building and Environment**, 41, p.1713–1722, 2006.
- HIRASHIMA, S. Q. S.; ASSIS, E. S.; NIKOLOPOULOU, M.; Daytime thermal comfort in urban spaces: A field study in Brazil. *Build. Environ.* v. 107, p. 245–253, 2016.
- HÖPPE, P.; Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. **Energy Build.** 34, p. 661–665, 2002.
- HOUGHTEN, F. C.; YAGLOU, C. P.; Determining lines the equal comfort and Determination of the comfort zone. In: **ASHVE Transactions**, v.29, 1923.
- ISO 10551. Ergonomics of the Thermal Environment – Assessment of the Influence of the Thermal Environment Using Subjective Judgement Scales. **International Organization for Standardization**, Geneva, 1995.
- ISO 7726. Ergonomics of the Thermal Environment – Instruments for Measuring Physical Quantities. **International Organization for Standardization**, Geneva, 1998.
- ISO 8996. Ergonomics of the Thermal Environment – Determination of Metabolic Rate. **International Organization for Standardization**, Geneva, 2004.
- ISO 9920. Ergonomics of the Thermal Environment – Estimation of Thermal Insulation and Water Vapour Resistance of a Clothing Ensemble. **International Organization for Standardization**, Geneva, 2007.
- JOHANSSON E.; THORSSON S.; EMMANUEL R.; KRÜGER E.; Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies – The need for standardization. **Urban Climate** v. 10, 346–366, 2014.
- KÁNTOR, N.; KOVÁCS, A.; TAKÁCS, Á.; Seasonal differences in the subjective assessment of outdoor thermal conditions and the impact of analysis techniques on the obtained results. *Int. J. Biometeorol.* v. 60, p. 1615–1635, 2016.
- KRÜGER, E. L.; ROSSI, F. A.; DRACH, P. Calibration of the physiological equivalent temperature index for three different climatic regions. *Int. J. Biometeorol.* v. 61, p. 1323–1336, 2017.
- LAI D., GUO D.; HOU Y.; LIN C.; CHEN Q. Studies of outdoor thermal comfort in northern China. **Building and Environment**, 77, 110-118, 2014.
- LOWE, D.; EBI, K. L.; FORSBERG, B.; Heatwave Early Warning Systems and Adaptation Advice to Reduce Human Health Consequences of Heatwaves. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. V.8, n .12, 4623 - 4648. 2011.
- MAIA, J. A.; GONÇALVES, F. L. T. Uma análise do conforto térmico e suas relações meteorotrópicas na cidade de São Paulo – parte 1. **Anais**. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Foz de Iguaçu, 2002, p.305-314.
- MISSENARD, F. A. Température effective d'une atmosphere Généralisation température résultante d'un milieu. In: **Encyclopédie Industrielle et Commerciale, Etude physiologique et technique de la ventilation**. Paris: Librerie de l'Enseignement Technique, 1933, p.131-185.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P.; Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos. **Ambiente Construído**, v. 7, n. 3, p. 43-58, 2007.
- NAKANO, E. Y.; PEREIRA, C. A. B.; **Soluções bayesianas para alguns problemas clássicos com dados discretos**. 2010. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010..
- NETER, J. E.; WASSERMAN, W. E.; KUTNER, M. H.; **Applied Linear Statistical Models**, 5ª ed. Illinois: Irwin, 1.181p, 1990.
- NIKOLOPOULOU, M.; BAKER, N.; STEEMERS, K. Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. **Sol. Energy** 70, 227–235, 2001.
- PANTAVOU, K.; THEOHARATOS, G.; SANTAMOURIS, M.; ASIMAKOPOULOS, D.; Outdoor thermal sensation in a Mediterranean climate and a comparison with UTCI. **Building and Environment** 66, 82-95, 2013.
- PAULA, G.; **Modelos de regressão com apoio computacional**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2013, 428p.
- ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L; BRÖDE, P.; Definição de faixas de conforto e desconforto térmico para espaços abertos em Curitiba, PR, com o índice UTCI. **Ambiente Construído (Online)**, v. 12, p. 41-59, 2012.

SANTAMOURIS, M., GAITANI, N., SPANOU, A., SALIARI, M., GIANOPOULOU, K., VASILAKOPOULOU, K.; Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas – design realisation and results of the Flisvos project. **Building and Environment**. v. 53, p. 128–136, 2012.

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

SUPING, Z.; GUANGLIN, M.; YANWEN, W.; JI, L. Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distance runners. **International Journal of Biometeorology**, 36, 63-68, 1992.

YANG, W.; WONG, N. H.; JUSUF, S. K. Thermal comfort in outdoor urban spaces in Singapore. **Build. Environ.** v. 59, p. 426–435, 2013.