



**XV ENCAC** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

**XI ELACAC** Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

## **ESTUDO COMPARATIVO DE FAIXAS DE CONFORTO OBTIDAS PARA O ÍNDICE TÉRMICO UTCI PARA DUAS CIDADES BRASILEIRAS**

**Thiago José Vieira Silva (1); Simone Queiroz da Silveira Hirashima (2);**

**Eduardo L. Krüger (3); Eduardo Grala da Cunha (4); Luísa Alcântara Rosa (5)**

- (1) Arquiteto, Urbanista e Engenheiro Civil, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, vieira.thiago@gmail.com, Av. Amazonas, 7675, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil - CEP 30510-000 - +55 31 3319-6848
- (2) Arquiteta e Urbanista, Dra., Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, simonehirashima@cefetmg.br
- (3) Engenheiro Civil, Dr., Professor do Departamento Acadêmico de Construção Civil e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), ekruger@utfpr.edu.br, Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000, Ecoville, Curitiba, Paraná, Brasil – CEP 81280-340 - +55 41 3279-6821
- (4) Arquiteto e Urbanista, Dr., Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura (PROGRAU), Universidade Federal de Pelotas, eduardo.gralal@ufpel.edu.br, Rua Benjamim Constant 1359, Centro, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil - CEP 96010-020 - +55 53 3284-5500
- (5) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, luisa.alcantara.rosa@gmail.com

### **RESUMO**

O crescimento das cidades acompanhado de impactos na paisagem e ambientes naturais exigirá estratégias de adensamento urbano, particularmente em países em desenvolvimento. Índices biometeorológicos, como o UTCI, podem orientar esse processo, pois servem de suporte para estimativas dos impactos gerados na sensação térmica de intervenções em ambientes externos. Contudo, uma etapa preliminar deve prever testes de adequação das faixas de conforto e estresse térmico de tais índices, com procedimentos de calibração embasados em pesquisas com a população local. Este artigo compara as faixas de conforto obtidas para duas localidades distintas no Brasil: Belo Horizonte, 20°S, clima Cwa e Pelotas, a 32°S, com clima Cfa, as duas cidades diferindo fortemente em termos de latitude local. Para cada cidade, campanhas de conforto em espaços abertos foram realizadas segundo procedimentos semelhantes, cobrindo uma ampla gama de condições microclimáticas ao longo de diferentes estações do ano. Em Belo Horizonte, a amostra obtida compreende 1691 votos térmicos com medições em quatro locais diferentes ao longo de quatro campanhas. Em Pelotas, a amostra foi consideravelmente menor e compreende 257 votos distribuídos em dez campanhas de monitoramento, em cinco pontos diferentes. Os resultados obtidos indicam uma redução das temperaturas neutras em torno de 2°C (unidades UTCI), possivelmente devido à latitude e ao clima local, para a localidade mais ao sul. As faixas de conforto sugerem, inicialmente, maior amplitude para Pelotas do que em Belo Horizonte. O valor inferior da zona de conforto para o UTCI foi mais baixo que o da faixa sugerida para o índice em Pelotas. Uma possível explicação para isso é uma exposição mais longa a condições de frio, uma vez que os edifícios raramente são providos de sistemas de calefação.

Palavras-chave: conforto em espaços abertos; índices de conforto térmico; clima urbano.

### **ABSTRACT**

Urban growth accompanied by impacts on landscape and natural environments will require guided compaction schemes in urban areas, particularly in developing countries. Human-biometeorological indices such as UTCI could guide this process, as they provide a clear account of expected effects on thermal sensation from a given change in outdoor settings. However, an earlier step should optimally include an

adequacy test of suggested comfort and thermal stress ranges with calibration procedures based on surveys with the aimed population. This paper compares obtained comfort ranges for two different locations in Brazil: Belo Horizonte, 20°S, Cwa climate type and Pelotas, at 32°S, with a Cfa climate type, thus with a pronounced difference in local latitude. In each city, a set of outdoor comfort campaigns has been carried out according to similar procedures, covering a wide range of microclimatic conditions over different seasons of the year. In Belo Horizonte, the sample obtained comprises 1691 thermal votes with measurements in four different locations over four campaigns. In Pelotas, the sample was considerably smaller (ongoing research) and comprises 257 votes distributed in ten measurement campaigns at five different points. Obtained results indicate a reduction of neutral temperatures around 2°C (in UTCI units) as a possible latitude and local climate effect for the southernmost location. Comfort ranges are initially wider for Pelotas than in Belo Horizonte. A lower UTCI value was found in Pelotas for the lower threshold of the comfort band as compared to the suggested band for the index. A possible explanation for that is a longer exposure to cold conditions as buildings seldom are provided with heating systems.

Keywords: outdoor thermal comfort; thermal comfort indices; urban climate.

## 1. INTRODUÇÃO

As ações antrópicas relacionadas à urbanização das cidades definem o clima urbano. Segundo Oke et al. (2017), o contexto urbano influencia as características climáticas nos níveis local, regional e global. Essas alterações climáticas proporcionam significativa interferência sobre os seres humanos. Para Steane e Steemers (2004), o ambiente urbano é responsável pela geração de percepções de espaço diferenciadas, afetando o comportamento de seus usuários. Nesse contexto, condições confortáveis termicamente influenciam o uso do espaço urbano de maneira positiva, promovendo a vitalidade das relações sociais, econômicas e culturais da cidade (NIKOLOPOULOU, 2004).

Os índices de conforto térmico buscam integrar parâmetros microclimáticos, individuais e subjetivos relacionados aos ambientes térmicos urbanos por onde transita a população e, uma vez calibrados, figuram como importantes ferramentas de avaliação e projeto (POTCHTER et al., 2018). Diversos índices térmicos são citados na literatura e alguns estudos mais recentes visam à calibração de faixas de conforto e estresse térmicos para a população local (SILVA, 2019). Calibrar estes índices permite determinar intervalos representativos das condições de conforto térmico e prever a sensação térmica de acordo com uma escala de avaliação (HIRASHIMA et al., 2018).

Dentre os índices térmicos existentes para espaços abertos, o *Universal Thermal Climate Index (UTCI)* tem sido amplamente estudado e adotado por pesquisadores focados no conforto térmico na região. O índice foi desenvolvido no âmbito da *International Society of Biometeorology (ISB)* (<https://uwm.edu/biometeorology/>), inicialmente em 2000, no âmbito de uma comissão específica, a *UTCI ISB Commission 6*. Em 2004, lançou-se um projeto inter-institucional para desenvolvimento do UTCI composto por diversos parceiros europeus e apoiado pelo edital *COST Action (European Cooperation in Scientific and Technical Research)*. O projeto, com participação de 19 países, foi finalizado em 2009 e, a partir de então, conforme relatório final, foi sugerido que as etapas de avaliação e validação da ferramenta fossem realizadas em pesquisas subsequentes. As diversas categorias de conforto e estresse térmico originalmente estabelecidas para o *UTCI* são apresentadas na Tabela 1.

O ambiente de referência proposto pelo UTCI é definido, segundo Staiger et al. (2019) como um ambiente isotérmico com baixa velocidade do ar, aproximadamente 0,3 m/s, considerando uma altura de 1,1 m acima do solo, 50% de umidade relativa e uma pressão de vapor de água de 20hPa. O calor metabólico do sujeito de referência é de 135 W/m<sup>2</sup>.

Características microclimáticas e região climática, comumente baseadas na classificação de *Köppen-Geiger*, são de fundamental importância para pesquisas que visualizam o conforto térmico como objetivo. A dimensão continental do Brasil, com a heterogeneidade de fatores climáticos, afeta o desempenho de índices térmicos quanto a votos de sensação térmica real, justificando a calibração dos índices de conforto térmico para a população local (SILVA, 2019).

Tabela 1 - Faixas de estresse térmico do UTCI

Faixas de UTCI	Categorias de estresse
> 46 °C	extremo estresse para o calor
38 °C a 46 °C	muito forte estresse para o calor
32 °C a 38 °C	forte estresse para o calor
26 °C a 32 °C	moderado estresse para o calor
18 °C a 26 °C	conforto térmico
9 °C a 18 °C	sem estresse térmico
0 °C a 9 °C	pouco estresse para o frio
0 °C a -13 °C	moderado estresse para o frio
-13 °C a -27 °C	forte estresse para o frio
-27 °C a -40 °C	muito forte estresse para o frio
<-40 °C	extremo estresse para o frio

Fonte: Bröde et al. (2011)

Quanto ao uso de *UTCI* no Brasil, Silva e Hirashima (2018) consolidaram um Portfólio Bibliográfico construído através da análise sistemática e bibliométrica do *Knowledge Development Process - Constructivist (ProKnow-C)*. Este estudo foi realizado no primeiro semestre de 2018 e encontrou apenas 13 trabalhos publicados no país (ROSSI et al., 2012; KRÜGER et al., 2012; KRÜGER et al., 2017a; KRÜGER, 2017; BRÖDE et al., 2012; BRÖDE et al., 2013; MINELLA; KRÜGER, 2016; MARTINI et al., 2014; KRÜGER et al., 2015; KRÜGER et al., 2017b; KRÜGER; DRACH, 2016; 2017; 2017a; 2017b). Em geral, o desempenho do índice foi avaliado quanto à geometria urbana, a variáveis pessoais, ao percentual de áreas com vegetação, a condições de aclimatação e ao histórico térmico, dentre outros fatores. Em relação à calibração do *UTCI* para a população local no Brasil, Silva e Hirashima (2018) encontraram apenas um estudo: Rossi et al. (2012), que realizaram a calibração para a cidade de Curitiba, Paraná. Mais recentemente, Silva e Hirashima (2018a) e Silva (2019) calibraram o *UTCI* para a cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais.

Os estudos sobre o clima urbano têm sido crescentemente considerados como definidores de parâmetros de natureza urbanística. No Brasil, vários são os estudos em desenvolvimento sobre conforto térmico em espaços abertos, no entanto a diversidade climática brasileira presume que os estudos devam ser pontuais e metodologicamente replicáveis (SILVA, 2019), o que justifica a proposta deste artigo.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é comparar as faixas de conforto térmico obtidas para Belo Horizonte, localizada a 20°S, com clima Cwa e Pelotas, a 32°S, com clima Cfa, locais com significativa diferença na latitude local.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi dividido em cinco etapas, detalhadas nos itens a seguir:

6. Coleta de dados em Belo Horizonte (MG);
7. Coleta de dados em Pelotas (RS);
8. Cálculo de *UTCI* (*software* Bioklima 2.6);
9. Calibração do *UTCI* por regressão linear e por agrupamento de valores para variação discreta dos valores calculados do índice;
10. Comparação das faixas de conforto calibradas para as cidades de Belo Horizonte e Pelotas.

### 3.1. Coleta de dados em Belo Horizonte (MG)

Belo Horizonte está localizada na porção central do estado de Minas Gerais. Segundo a classificação Köppen-Geiger, o clima tropical com inverno seco (Aw) predomina em cerca de 67% do território do estado (REBOITA et al., 2015) sendo tal classificação atribuída por Assis (1990) para a capital mineira.

Segundo as Normas Climatológicas do Brasil 1981-2010 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, BRASIL, 2018), Belo Horizonte apresenta uma temperatura média anual de 21,8°C, umidade relativa do ar de 67,2 %, intensidade anual do vento de 1,7m/s e nebulosidade média anual de 0,5 décimos.

#### 3.1.1. Banco de dados (Coleta e tratamento)

O banco de dados de Belo Horizonte considerado nesta pesquisa encontra-se descrito por Hirashima (2014) e Hirashima et al., 2016; 2016a), somando um total de 1691 questionários aplicados. A coleta de dados foi realizada em duas praças de Belo Horizonte, Liberdade (Figura 1) e Sete de Setembro (Figura 3), que, segundo Hirashima (2014), apresentam diferenças significativas com relação ao *Sky View Factor* (SVF),

arborização, verticalização e adensamento do tecido urbano de seu entorno (Figuras 2 e Figura 4). A distância entre as praças é de cerca de 1 km.



Figura 1 – Praça Sete de Setembro



Figura 2 – SVF Praça da Liberdade



Figura 3 – Praça Sete de Setembro



Figura 4 – SVF Praça Sete de Setembro

Fonte: Hirashima (2014)

O monitoramento dos dados ocorreu no verão e inverno de 2013, entre 7:00 e 17:00 hs. Os dados coletados foram: temperatura do ar ( $T_a$ ), umidade relativa (UR), velocidade do ar ( $V_a$ ) e temperatura do globo ( $T_g$ ). Os equipamentos (termohigrômetro, anemômetro e termômetro de globo) foram montados em tripés com altura de 1,10m e posicionados nos pontos de coleta 30 minutos antes do início da pesquisa para que o termômetro globo atingisse o equilíbrio. O termômetro de globo usado tem 40 mm de diâmetro e cor cinza. Todos os instrumentos foram previamente calibrados. Os dados foram registrados a cada 5 minutos (HIRASHIMA, 2014; HIRASHIMA et al., 2016; 2016a).

A percepção térmica dos usuários foi coletada por meio de entrevistas simultaneamente ao monitoramento dos dados microclimáticos. A amostra considerou apenas a população adulta (20 a 59 anos) residente em Belo Horizonte há mais de um ano e que estava pelo menos por 30 minutos no ambiente externo. As variáveis consideradas pelos questionários estruturados foram: individuais (idade, sexo, altura, peso, taxa metabólica, isolamento térmico da roupa) e subjetiva (percepção da sensação térmica, preferência pela sensação térmica e avaliação de conforto térmico). Com relação à percepção térmica, a elaboração do questionário considerou a norma ISO 10551 (2015), que estabelece escalas térmicas subjetivas de percepção, avaliação preferência, tolerância e aceitação (HIRASHIMA, 2014). As normas ISO 7730 (2005), 8996 (2004) e 9920 (2007) também foram consideradas.

As escalas usadas para os aspectos abordados neste artigo estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Escalas usadas nos questionários (sensação, preferência e avaliação)

Questão	Voto	Resposta interpretativa
Como se sente nesse exato momento?	-3	Com muito frio
	-2	Com frio
	-1	Com pouco frio
	0	Sem frio nem calor
	1	Com calor
	2	Com pouco calor
	3	Com muito calor
Você preferiria o ambiente que estivesse...	1	Muito mais frio
	2	Mais frio
	3	Um pouco mais frio
	4	Nem mais frio nem mais quente
	5	Um pouco mais quente
	6	Mais quente
	7	Muito mais quente
Em relação à sua resposta anterior, você considera o ambiente...	1	Confortável
	2	Ligeiramente desconfortável
	3	Desconfortável
	4	Muito desconfortável

Fonte: os autores

O cálculo da temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ) foi realizado pela equação da convecção forçada estabelecida pela ISO 7726 (1998). A velocidade do ar foi coletada a uma altura de 1,10m. O cálculo do

UTCI utiliza valores da velocidade do vento, em m/s, a 10 metros de altura, sendo assim aplicado um fator de conversão logarítmico, proposto por Bröde et al. (2012) para este fim.

### 3.2. Coleta de dados em Pelotas (RS)

A cidade de Pelotas está localizada na mesorregião sudeste do estado do Rio Grande do Sul e na microrregião Pelotas. Conforme a classificação Köppen-Geiger, o clima em Pelotas é subtropical (Cfa), predominante no Rio Grande do Sul, com exceção de regiões do Planalto Basáltico que são mais elevadas, cujo clima é classificado como temperado (Cfb) (ROSSATO, 2011).

Com base nas Normas Climatológicas do Brasil 1981-2010 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, BRASIL, 2018), a temperatura média anual é de 18°C, a umidade relativa do ar é de 81,5%, com intensidade anual do vento de 2,0 m/s e nebulosidade média anual de 0,6 décimos.

#### 3.2.1. Banco de dados (coleta e tratamento)

O banco de dados de Pelotas faz parte de uma pesquisa em andamento. Considerando esse fato, a totalidade de registros é de 257 respostas de percepção térmica. A coleta de dados ocorreu em cinco locais. Três pontos estão localizados no centro de Pelotas, especificamente na Praça Coronel Pedro Osório (Figura 5), na Rua XV de Novembro (Figura 6) e no calçadão da Rua Andrade Neves (Figura 7). Na Avenida Dom Joaquim (Figura 8), na zona norte da cidade, há mais um ponto de coleta. O último está situado na Avenida Doutor Antônio Augusto de Assunção (Figura 9), na Praia do Laranjal. Esses locais apresentam diferentes valores de *Sky View Factor* (SVF), que variam de 0,52 a 0,87.



Figura 5 - Praça Coronel Pedro Osório e SVF



Figura 6 - Rua XV de Novembro e SVF



Figura 7 - Rua Andrade Neves e SVF



Figura 8 - Avenida Dom Joaquim e SVF



Figura 9 - Av. Doutor Antônio Augusto de Assunção e SVF

Fonte: os autores

O período de observação dos dados compreende os meses de agosto, setembro e outubro de 2018, durante o período entre 9:00 e 17:00 hs. O aparelho utilizado nas medições é o TGD-400, foi montado sobre um tripé instalado na altura de 1,10 m do solo. Nos dias de coleta, o equipamento é posicionado e ligado 20 minutos antes do início das medições, para que desse modo seja obtido equilíbrio térmico entre o ambiente e o termômetro do globo. Nessa pesquisa, o globo utilizado possui diâmetro de 40 mm e cor cinza. Os dados coletados foram: temperatura de ar ( $T_a$ ), temperatura de ponto de orvalho ( $T_o$ ), temperatura de bulbo úmido (TBU), valores de IBUTG, temperatura do globo ( $T_g$ ) e velocidade do ar ( $V_a$ ). O registro de informações ocorreu a cada 5 segundos. Ressalte-se que o equipamento é novo, com certificado de calibração de fábrica.

A percepção térmica dos usuários foi analisada considerando fatores que a influenciam direta e indiretamente, por meio de questionários aplicados durante o período que os dados microclimáticos eram coletados. A pesquisa em Pelotas não delimitou uma faixa etária para os participantes, analisando a população residente do município há pelo menos seis meses e que estava no ambiente externo a mais de 5 minutos. Os questionários foram estruturados com variáveis biométricas (sexo, idade, altura, peso, cor da pele), uso do espaço (se o usuário conhece e frequenta o local e a razão de estar ali), isolamento térmico da

vestimenta, aclimação (tempo que reside na cidade, utilização do ar condicionado, tempo que está no ambiente externo), percepção térmica (como se sente, como preferiria que estivesse e avaliação de conforto térmico), percepção da ventilação (como se sente, como preferiria que estivesse e avaliação da ventilação) e observacionais (calor metabólico de atividade física). A elaboração do questionário levou em consideração as normas ISO 8996 (2004), 7730 (2005), 9920 (2007) e 7726 (1998).

A temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ) foi obtida através da equação da convecção forçada, assim como para Belo Horizonte, estabelecida pela ISO 7726 (1998). A velocidade do ar medida foi convertida para valores a 10 m do solo.

### 3.3. Cálculo do *UTCI* e procedimento de calibração

Os valores de *UTCI* foram calculados por meio da utilização do software BioKlima 2.6, um *freeware* desenvolvido por Krzysztof Błażejczyk para uso na Biometeorologia e Fisiologia, possibilitando o cálculo de diversos índices térmicos (<https://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>). No cálculo do *UTCI*, foram utilizadas as variáveis  $T_a$ ,  $T_g$ , UR e  $V_a$ , esta última convertida para um valor a 10 m do solo por equação logarítmica. Uma comparação inicial do conjunto completo de dados para ambas as cidades foi realizada a partir de regressão linear simples via gráfico de dispersão com equação de regressão. A calibração foi então realizada a partir do agrupamento dos votos de sensação térmica para cada variação de 1 grau na escala *UTCI*, ou seja, média aritmética simples para os votos compreendidos em tal variação de *UTCI*. Nesse processo, médias para uma quantidade de entrevistados inferior a três foram desconsideradas. A partir das médias de sensação e preferência térmicas e avaliação de conforto térmico, foram geradas equações de regressão para ambas as localidades, verificando-se faixas preferenciais.

## 4. RESULTADOS

As condições térmicas das campanhas realizadas nas duas cidades são apresentadas na Tabela 3. Verifica-se que as respostas expressas como votos de sensação e preferência térmicas e avaliação de conforto térmico cobrem todo o espectro de opções em Belo Horizonte e Pelotas. A variação do índice *UTCI* foi levemente mais alta para as campanhas realizadas em Belo Horizonte, com correspondente aumento na média de votos de sensação térmica e com uma diminuição dos votos de preferência térmica. A avaliação de conforto térmico foi, em média, semelhante para as duas amostras, correspondendo em ambas a um leve desconforto devido ao calor.

Tabela 3: Avaliações subjetivas versus condições térmicas em valores *UTCI*

Belo Horizonte	<i>UTCI</i>	Sensação	Preferência	Avaliação de Conforto
min	14,2	-3,0	1,0	1,0
méd	26,7	0,9	3,3	1,8
max	37,7	3,0	7,0	4,0
Pelotas	<i>UTCI</i>	Sensação	Preferência	Avaliação de Conforto
min	11,8	-3,0	1,0	1,0
méd	22,5	0,3	4,4	1,4
max	34,4	3,0	7,0	4,0

Fonte: os autores

Os resultados obtidos para os dados brutos de sensação térmica via análise de regressão linear indicam uma redução das temperaturas neutras em torno de 3°C (unidades *UTCI*, obtidas para a intersecção das linhas de tendências com o eixo das abcissas) possivelmente devida à latitude e clima local para a localização mais ao sul (Tabela 4).

Tabela 4: Equações de Regressão e Temperatura Neutra para Belo Horizonte e Pelotas

Localidade	Equação de Regressão (dados brutos)	R <sup>2</sup>	Temperatura Neutra (obtida para Voto de Sensação Térmica ST = 0)
Belo Horizonte	ST = 0,2367* <i>UTCI</i> - 5,455	0,47	23,0
Pelotas	ST = 0,1233* <i>UTCI</i> - 2,4473	0,29	19,8

Fonte: os autores

As faixas de conforto e estresse, devido à menor inclinação da linha de tendência para Pelotas, sugerem maior amplitude para essa localidade do que em Belo Horizonte (Figura 10). A temperatura neutra obtida pela nova equação de regressão para os dados agrupados permanece a mesma para Belo Horizonte (23,0°C na escala *UTCI*), enquanto que, para Pelotas, há uma pequena variação para cima, passando esta a 21,2°C na escala *UTCI*. Os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) passam a ser significativos, com menor dispersão nos dados para Belo Horizonte.

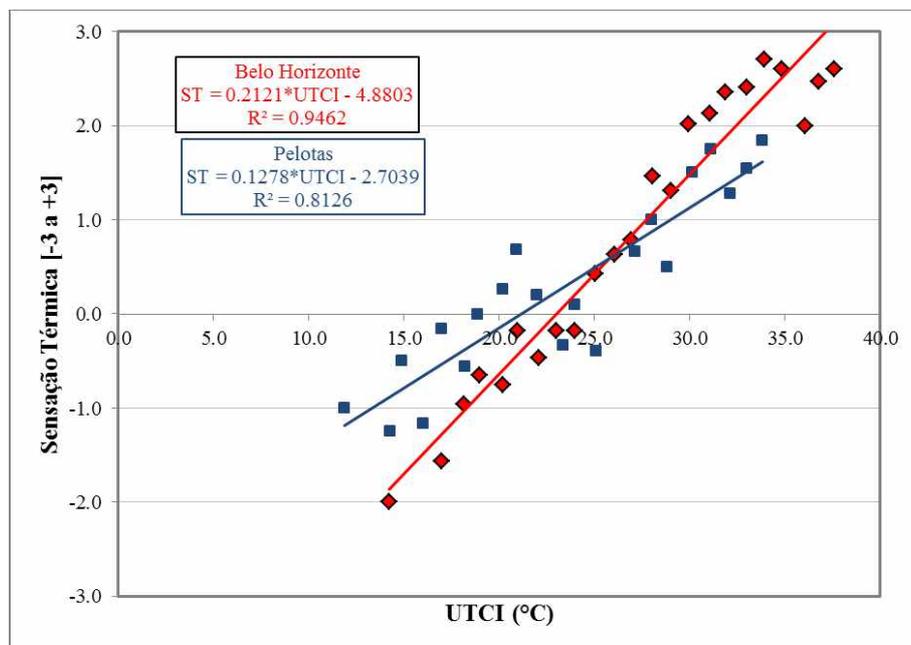


Figura 10 - Dados agrupados para Sensação Térmica (ST) e equações de regressão obtidas para Belo Horizonte e Pelotas  
 Fonte: os autores

Um valor muito baixo de UTCI foi encontrado em Pelotas para a sensação térmica de frio, valor -1 (de 13°C, para os dados agrupados), bastante inferior ao limiar superior para desconforto para frio para Belo Horizonte (18,3°C). A preferência térmica para as duas cidades é apresentada a seguir (Figura 11).

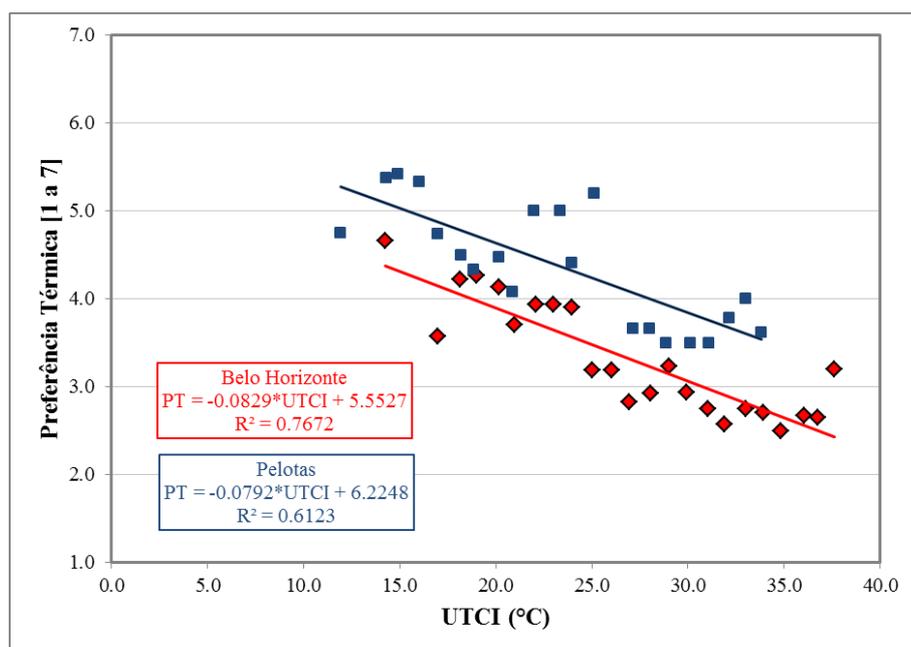


Figura 11 - Dados agrupados para Preferência Térmica (PT) e equações de regressão obtidas para Belo Horizonte e Pelotas  
 Fonte: os autores

As curvas de regressão se mostram paralelas, com uma preferência por condições mais quentes para Pelotas. A diferença no voto de preferência térmica ultrapassa meio voto entre ambas, para valores idênticos de UTCI. Finalmente, para a Avaliação de Conforto Térmico (ACT), a Figura 12 mostra as diferenças encontradas. Neste caso, são geradas equações polinomiais, nas quais os pontos de inflexão indicam maior proximidade da situação de conforto, aumentando o desconforto tanto para a condição de frio como para a de calor. As curvas de regressão confirmam os resultados da Tabela 3, com Pelotas atingindo valor mais baixo na escala de ACT (eixo das ordenadas) do que em Belo Horizonte. Os pontos de inflexão correspondem a um valor de UTCI mais alto para Pelotas, corroborando a preferência dos indivíduos entrevistados por condições mais quentes nessa localidade (cf. Fig. 11).

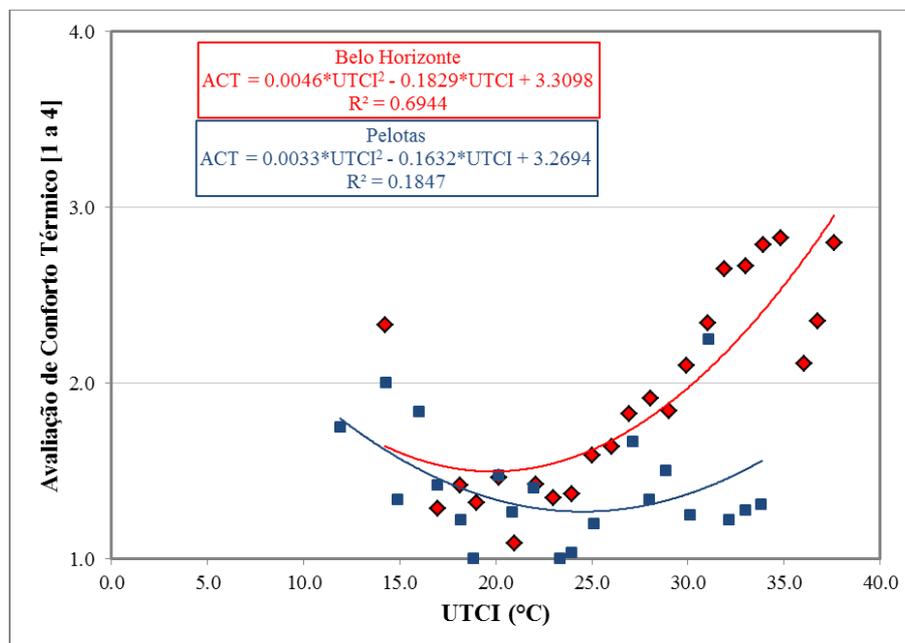


Figura 12 - Dados agrupados para Avaliação de Conforto Térmico (ACT) e equações de regressão obtidas para Belo Horizonte e Pelotas  
 Fonte: os autores

Ao se definir a faixa de -0,5 e +0,5 como o intervalo de conforto, seguindo o procedimento adotado pela norma ISO 7730 (ISO, 2005) (ambientes térmicos categoria B), determinam-se como faixas de conforto para ambas as localidades os valores indicados na Tabela 5, definidos a partir das equações de regressão obtidas para os dados agrupados de sensação térmica. Notam-se variações da faixa de conforto diferenciadas entre as duas amostras, com uma faixa mais abrangente para Pelotas. Comparativamente, a faixa de Pelotas é inferior à de Belo Horizonte. Enquanto ambas as faixas estão compreendidas no intervalo denominado “conforto térmico” para o UTCI (Tabela 1), em Pelotas, há uma expansão do valor inferior desta faixa. Tal expansão do limite inferior para a faixa de conforto original do UTCI também foi verificada para Curitiba por Rossi et al. (2012), nesse caso com aumento também do limite superior, conforme se apresenta na Tabela 5.

Tabela 5: Faixa de conforto segundo a ISO 7730 para Belo Horizonte e Pelotas

Localidade	Faixa de UTCI para ST entre -0,5 e 0,5	Varição de UTCI
<b>Belo Horizonte</b>	20,5 a 25,4	4,7
<b>Pelotas</b>	17,2 a 25,1	7,8
<i>Curitiba- PR (ROSSI et al., 2012)</i>	<i>15,0 a 27,0</i>	<i>12,0</i>
<i>Faixa original para o UTCI (BRÖDE et al., 2012)</i>	<i>18,0 a 26,0</i>	<i>8,0</i>

Fonte: os autores

Uma possível explicação para tais alterações dos limites de conforto originais pode ser atribuída ao modo de operação das edificações brasileiras, principalmente com relação à ausência de sistemas de calefação. Cidades com clima de maior variação sazonal aparentemente acarretam maior extensão da zona de conforto. Curitiba tem uma variação da temperatura média entre inverno e verão de 7,5K, Pelotas de 11,3K e Belo Horizonte de 4,7K (dados obtidos a partir das Normais Climatológicas brasileiras para 1981-2010 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, BRASIL, 2018)).

## 5. CONCLUSÕES

O presente estudo contribui para a área de climatologia urbana com um exemplo comparativo entre duas cidades brasileiras em termos de definição de zonas de conforto para o índice UTCI. Considerando uma década desde sua implementação e a escassez de estudos sobre esse índice no Brasil, os autores esperam ter contribuído de forma singela para o incentivo a novos estudos utilizando o UTCI no país. Os resultados iniciais desta pesquisa, ainda em andamento, mostraram alterações da faixa original para conforto térmico para o UTCI, com valores mais baixos e maior amplitude para Pelotas, RS. O efeito climático, somado à grande variação na latitude de cada cidade, além de impactos do uso restrito de sistemas de calefação são sugeridos como fatores explicativos para os ajustes necessários na calibração do UTCI para as duas cidades.

Como limitações deste estudo, como este é um estudo em andamento, a amostra para a cidade de Pelotas ainda é pouco representativa e será aumentada com a realização de novas coletas de dados em campo, o que poderá resultar em alterações na faixa de conforto e nos valores de temperatura neutra apresentados. Pesquisas vêm sendo realizadas no CEFET-MG e na UFMG a fim de verificar a influência do tipo de tratamento estatístico utilizado no procedimento de calibração nas faixas de conforto obtidas. Neste trabalho utilizou-se a regressão linear simples para uma primeira comparação entre os dados obtidos, porém futuros passos envolverão a aplicação de métodos como regressão logística ordinal, dentre outros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, E. S. **Mecanismos de desenho urbano apropriados à atenuação da ilha de calor urbana: análise de desempenho de áreas verdes em clima tropical**. 1990. 164 p. 1990. Tese de Doutorado. dissertação (Mestrado em Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFRJ, Rio de Janeiro.
- BRÖDE, P.; FIALA, D.; BLAZEJCZYK, K.; HOLMÉR, I.; JENDRITZKY, G.; KAMPMANN, B.; TINZ, B.; HAVENITH, G. Deriving the Operational Procedure for the Universal Thermal Climate Index UTCI. **International Journal of Biometeorology, special issue UTCI**, 2011.
- BRÖDE, P.; KRÜGER, E. L.; ROSSI, F. A.; FIALA, D. Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI—a case study in Southern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 3, p. 471-480, 2012.
- BRÖDE, P.; KRÜGER, E. L.; FIALA, D. UTCI: validation and practical application to the assessment of urban outdoor thermal comfort. **Geographia Polonica**, v. 86, n. 1, p. 11-20, 2013.
- HIRASHIMA, S. Q. S. **Percepção sonora e térmica e avaliação de conforto em espaços urbanos abertos do município de Belo Horizonte-MG, Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade de 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.; ASSIS, E. S.; NIKOLOPOULOU, M. Dataset on daytime outdoor thermal comfort for Belo Horizonte, Brazil. **Data in brief**, v. 9, p. 530-535, 2016a.
- 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.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas 1981-2010**. INMET, BRASIL, 2018.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7726. Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities. Genebra: ISO, 1998.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8896. Ergonomics of the thermal environments – Determination of thermal metabolic rate. Genebra: ISO, 2004.
- 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. Genebra, 2005.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 9920. **Ergonomics of the thermal environments – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble**. Genebra: ISO, 2007.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 10551. **Ergonomics of the thermal environments – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales**. Genebra: ISO, 2015.
- 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.
- KRÜGER, E. L. Impact of site-specific morphology on outdoor thermal perception: A case-study in a subtropical location. **Urban Climate**, v. 21, p. 123-135, 2017.
- KRÜGER, E. L.; BRÖDE, P.; EMMANUEL, R.; FIALA, D. Predicting outdoor thermal sensation from two field studies in Curitiba, Brazil and Glasgow, UK using the Universal Thermal Climate Index (UTCI). In: Windsor Conference. 2012.
- KRÜGER, E. L.; DRACH, P. R. C. Identifying potential effects from anthropometric variables on outdoor thermal comfort. **Building and Environment**, v. 117, p. 230-237, 2017.
- KRÜGER, E. L.; DRACH, P. R. C. Impactos do uso de climatização artificial na percepção térmica em espaços abertos no centro do Rio de Janeiro. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 2, p. 133-148, 2016.
- KRÜGER, E. L.; DRACH, P. R. C. Interferências do fator cor da pele na percepção térmica de transeuntes. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 83-96, 2017b.
- KRÜGER, E. L.; DRACH, P. R. C. Quantificação dos impactos da climatização artificial na sensação térmica de transeuntes em termos de alterações no microclima. **URBE. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, n. 1, 2017a.
- KRÜGER, E. L.; DRACH, P. R. C.; BRÖDE, P. Implications of air-conditioning use on thermal perception in open spaces: A field study in downtown Rio de Janeiro. **Building and Environment**, v. 94, p. 417-425, 2015.
- KRÜGER, E. L.; DRACH, P. R. C.; BRÖDE, P. Outdoor comfort study in Rio de Janeiro: site-related context effects on reported thermal sensation. **International Journal of Biometeorology**, v. 61, n. 3, p. 463-475, 2017b.
- MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C.; ZAMPRONI, K.; VIEZZER, J.; GRISE, M. M.; LIMA NETO, E. M. Population's perception on thermal comfort provided by street trees of Curitiba-PR. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 515-524, 2014.
- MINELLA, F. C. O.; KRÜGER, E. L. Proposição do índice “fração vegetada” e sua relação com alterações na temperatura do ar e no conforto térmico no período diurno e em situação de verão para Curitiba. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 353-371, 2017.
- NIKOLOPOULOU, M. Outdoor comfort. In: STEANE, M. A.; STEEMERS, K. (Ed.) **Environmental Diversity in Architecture**. London; New York: Spon Press, 2004.
- OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban Climates**. Cambridge University Press, 2017.
- POTCHTER, O.; COHEN, P.; LIN, T. P.; MATZARAKIS, A. Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. **Science of The Total Environment**, v. 631, p. 390-406, 2018.

- REBOITA, M. S.; MARTINS, D.; MILLER, G.; FREITAS, C. H.; PEREIRA, R. A. A. Anomalias dos Padrões Sinóticos da Atmosfera na América do Sul nos Meses de Janeiro de 2014 e 2015. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, n. 4, 2015.
- ROSSATO, MAÍRA SUERTEGARAY. **Os climas no Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS - BR, 2011.
- 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**, v. 12, n. 1, p. 41-59, 2012.
- 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 - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (PPGEC.CEFET.MG), 2019.
- SILVA, T. J. V.; HIRASHIMA, S.Q.S. Conforto Térmico em Espaços Abertos: O Estado da Arte do Universal Thermal Climate Index - UTCI no Brasil. **In: ENTAC 2018 - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2018, Foz do Iguaçu. Anais do ENTAC 2018 - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2018.
- SILVA, T. J. V. ; HIRASHIMA, S. Q. S. Calibration in the Universal Thermal Climate Index (UTCI) for urban spaces in the city of Belo Horizonte - Minas Gerais **In: 10th International Conference on Urban Climate / 14th Symposium on the Urban Environment**, New York, 2018a.
- STAIGER, H.; LASCHEWSKI, G.; MATZARAKIS, A. Selection of Appropriate Thermal Indices for Applications in Human Biometeorological Studies. **Atmosphere**, v. 10, n. 1, p. 18, 2019.
- STEANE, M. A.; STEEMERS, K. **Environmental diversity in architecture**. Routledge, 2004.