



**XII ENCAC** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído  
**VIII ELACAC** Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído

BRASÍLIA | 25 a 27 de setembro de 2013

## COMPARAÇÃO ENTRE SENSACÃO TÉRMICA REAL E O ÍNDICE PET PARA CURITIBA/PR

**Francine Aidie Rossi (1); Eduardo L. Krüger (2)**

(1) PhD, Professora do Departamento de Expressão Gráfica, [rossi@ufpr.br](mailto:rossi@ufpr.br)  
Universidade Federal do Paraná (UFPR), Departamento de Expressão Gráfica (DEGRAF).  
Av. Cel. Francisco Heráclito dos Santos, 210, Jd. das Américas - 81531-970 – Curitiba/PR

(2) PhD, Professor do Departamento de Construção Civil, [ekruger@utfpr.edu.br](mailto:ekruger@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pós-Graduação em Tecnologia (PPGTE).  
Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças - 80230-901 – Curitiba/PR

### RESUMO

As mudanças das condições térmicas nos espaços abertos exercem grande influência nos seres humanos, afetando o nível de conforto e o desempenho das atividades cotidianas, dentre outros. No Brasil, vários estudos sobre conforto em espaços abertos estão sendo desenvolvidos, vários deles utilizando o índice PET para avaliar a sensação térmica em espaços abertos. Entretanto, a diversidade climática encontrada no país indica uma necessidade de estudos específicos em diversas localidades. Esta pesquisa tem como objetivo analisar comparativamente a sensação térmica da população de Curitiba/PR e a sensação térmica predita pelo índice PET. Foram realizados 15 levantamentos de campo - em trechos de ruas de pedestres da Rua XV de Novembro e cercanias - sendo 14 dias no período entre janeiro e agosto de 2009 e um dia em junho de 2010, totalizando 15 situações urbanas distintas. Os levantamentos ocorreram entre 10h00 e 15h00 em dias de semana, tendo sido monitorados dados climáticos e levantados dados pessoais, por meio de questionários. As respostas de sensação térmica foram agrupadas em três categorias: desconforto para o frio, conforto e desconforto para o calor. Da mesma forma, os valores preditos pelo índice PET foram agrupados em três categorias de estresse térmico: estresse térmico para o frio, sem estresse térmico e estresse térmico para o calor, de acordo com as definições do índice. Analisou-se a relação entre a sensação térmica real e a predita por meio da comparação das frequências relativas e da utilização de gráficos de bolha. Os resultados mostram a dificuldade de predição da sensação térmica da população de Curitiba utilizando o índice PET, o que sugere a necessidade de calibração do índice.

Palavras-chave: conforto térmico em espaços abertos, índices de conforto, planejamento urbano.

### ABSTRACT

Variations in thermal conditions in open spaces have a great impact on human beings, affecting comfort levels and human performance in daily activities. Several studies on comfort in outdoor spaces are under development in Brazil, many of them using the PET index to evaluate the thermal sensation in open spaces. However, the climatic diversity in this country indicates that more studies are needed in various locations. This research aims to comparatively analyze the thermal sensation of the population of Curitiba / PR and the thermal sensation predicted by PET. Fifteen measurements (14 days between January and August 2009 and one day in June 2010) were made at 15 different urban situations at Rua XV November and surrounding areas. The campaigns took place between 10am and 3pm on weekdays, during which weather data as well as comfort and individual data were collected. The thermal sensation votes were grouped into three categories: discomfort to the cold, comfort and discomfort to the heat. Similarly, the values predicted by PET were grouped into three categories of thermal stress: cold thermal stress, no thermal stress and heat thermal stress, according to the definitions of the index. The relationship between the actual and predicted thermal sensation were analyzed by comparing the relative frequencies and using bubble charts. The results show the difficulty of predicting the thermal sensation of the population of Curitiba using PET index, which suggests the need for calibration of the index.

Keywords: thermal comfort in open spaces, comfort indices, urban planning.

## 1. INTRODUÇÃO

A transformação do espaço, por meio do planejamento e do desenho urbano, pode minimizar ou maximizar o impacto ambiental nos centros urbanos. Fatores como os usos e a ocupação do solo, o zoneamento urbano, a orientação e a largura das vias, a altura das edificações, dentre outros, podem ser utilizados de forma a controlar a alteração climática urbana. As mudanças das condições térmicas exercem grande influência nos seres humanos, afetando o homem em diversos fatores, como a saúde, o conforto, a fisiologia, as emoções, o comportamento e o desempenho nas atividades diárias, devendo-se enfatizar que a influência climática pode ser tanto positiva como negativa (AYOADE, 2003).

A alteração do clima em consequência da urbanização pode ser percebida pela formação de microclimas diferenciados em diferentes regiões das cidades, ou seja, através da ocorrência do fenômeno denominado ‘ilha de calor’. Estas alterações climáticas geram variações nos graus de conforto e desconforto térmico, tanto em espaços abertos quanto internos. A análise dos parâmetros urbanos relacionados ao clima pode servir de subsídio para o planejamento urbano. Variáveis como taxa de permeabilidade do solo, recuos entre edificações, densidade e altura das edificações podem ser melhores definidas com base em estudos de conforto, e sua adequada utilização pode gerar melhorias nos níveis de conforto e redução de consumo energético para climatização ou iluminação artificial de edificações.

Vários índices de conforto foram desenvolvidos para analisar a relação entre os seres humanos e o ambiente ao qual estão expostos, sendo que a maior parte foi elaborada para verificar a sensação térmica em espaços internos. Ao considerar o espaço aberto, um maior número de variáveis atua na sensação de conforto, tornando o estudo desses espaços mais complexo. Diversas pesquisas utilizam índices de conforto baseado no balanço térmico do corpo humano, tais como o PET (*Physiological Equivalent temperature*) para analisar a relação entre a influência do desenho urbano na sensação térmica. Nesta linha citam-se as pesquisas de Givoni (1998), Katzschner e Mülder (2005), Ali-Toudert e Mayer (2006), Johansson (2006), Johansson e Emmanuel (2006), Rossi, Krüger e Bröde (2011) e Rossi, Krüger e Nikolopoulou (2011).

No âmbito nacional, há vários estudos sobre conforto em espaços abertos, de acordo com um levantamento feito de trabalhos publicados entre 1990 e 2011 nos anais dos Encontros Nacionais de Conforto no Ambiente Construído (ENCACs). Algumas pesquisas mostram que, devido à diversidade climática do país há a necessidade de estudos específicos nas diferentes localidades, como por exemplo, as pesquisas de Monteiro (2008), Shimakawa e Bueno-Bartholomei (2009), Hirashima (2010) e Barlati e Bueno-Bartholomei (2011).

As pesquisas analisadas mostram que a maior parte dos estudos utiliza os índices “Voto Médio Predito” ou PMV (54% das pesquisas analisadas) e “Temperatura Fisiológica Equivalente” ou PET (60% das pesquisas analisadas) para avaliar a sensação térmica.

O PET, Temperatura Fisiológica Equivalente (*Physiological Equivalent Temperature*), é um índice baseado no MEMI (*Munich Energy-balance Model for Individuals*), que tem como base o balanço de energia. O PET é “um índice para cálculo do conforto térmico, adaptado às condições externas, que considera não só a temperatura, umidade e vento, mas também a temperatura radiante média e é baseado na equação de equilíbrio térmico humano em estado de uniformidade” (MAYER; HÖPPE, 1987<sup>1</sup>, apud LOIS; LABAKI, 2001). Segundo Höppe (1999), o PET é definido como a temperatura fisiológica equivalente, em um determinado ambiente (interno ou externo), à temperatura do ar de um ambiente interno de referência, no qual o balanço térmico humano é mantido com temperatura da pele e do centro do corpo iguais àquelas das condições em avaliação. Os dados climáticos do ambiente de referência e os dados individuais são estabelecidos da seguinte forma: (1) umidade relativa de 50% a uma temperatura do ar de 20°C, (2) velocidade do ar de 0,1 m/s, (3) temperatura radiante média igual à temperatura do ar, (4) pressão de vapor de água de 12hPa, (5) metabolismo 80W e (5) vestimenta de 0,9 clo (HÖPPE, 1999). A faixa de conforto está entre 18°C e 23°C, conforme Mayer e Matzarakis (1998).

A Tabela 1 mostra os níveis de stress térmico e sensação térmica para os índices PMV e PET.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo é analisar comparativamente a sensação térmica de uma amostra aleatória de pedestres (N=1685) em Curitiba/PR e a sensação térmica predita pelo índice PET e verificar se o índice é adequado para prever a sensação térmica dessa população.

---

<sup>1</sup> MAYER, H.; HÖPPE, P. Thermal comfort of man in different urban environments. In: **Theoretical and Applied Climatology**, v. 38, p. 43-49, 1987.

Tabela 1 – Sensação térmica e nível de estresse térmico para o índice PET

PET	Sensação térmica	Nível de estresse térmico
	muito frio	extremo estresse para o frio
4°C	-----	-----
	frio	forte estresse para o frio
8°C	-----	-----
	pouco frio	moderado estresse para o frio
13°C	-----	-----
	levemente frio	leve estresse para o frio
18°C	-----	-----
	confortável	sem estresse térmico
23°C	-----	-----
	levemente calor	leve estresse para o calor
29°C	-----	-----
	pouco calor	moderado estresse para o calor
35°C	-----	-----
	calor	forte estresse para o calor
41°C	-----	-----
	muito calor	extremo estresse para o calor

Fonte: MAYER, MATZARAKIS, 1998.

### 3. MÉTODO

O método deste estudo está dividido nas seguintes etapas principais:

1. Monitoramento das variáveis climáticas e aplicação de questionários de sensação térmica;
2. Obtenção das categorias de sensação térmica real;
3. Cálculo do índice de conforto PET;
4. Obtenção das categorias de sensação térmica previstas pelo índice;
5. Análise da relação entre sensação térmica real e variáveis climáticas;
6. Análise comparativa da sensação térmica real e das respostas obtidas pelo índice PET.

#### 3.1. Monitoramento das variáveis climáticas e obtenção das variáveis pessoais

A área de estudo localiza-se nos trechos de pedestre das ruas XV de Novembro e Rua Saldanha Marinho (implantadas no sentido SW-NE), da Travessa Oliveira Bello e da Rua Senador Alencar Guimarães que são paralelas (orientação axial NO-SE) e da Praça Generoso Marques. O calçadão da Rua XV de Novembro faz parte da história do urbanismo brasileiro por ter se tornado em 1972 a primeira rua de pedestre do país. Atualmente, a Rua XV faz parte da identidade cultural da cidade, sendo caracterizada por um fluxo intenso e constante de transeuntes.

Realizaram-se 15 levantamentos de campo, ao longo do trecho das vias de pedestre (Figura 1), entre janeiro e agosto de 2009/2010, no período das 10h00 as 15h00, tendo sido monitorados 2 pontos em cada dia. A escolha dos dias de monitoramento foi realizada com base nos seguintes critérios: (1) maior variação possível de condições climáticas e épocas do ano; (2) ocorrência de condições climáticas estáveis, em dias sem probabilidade de chuva; (3) disponibilidade da equipe de apoio e (4) disponibilidade de transporte para as estações meteorológicas (o peso aproximado de cada estação montada é de aproximadamente 22 kg).



Figura 1 – Localização dos pontos para o monitoramento das variáveis climáticas e aplicação dos questionários

As variáveis climáticas monitoradas foram: temperatura do ar ( $T_a$ ), umidade relativa (UR), velocidade do ar ( $V_a$ ) e direção do vento, radiação solar (RS) e temperatura do globo de cobre ( $T_g$ ). Utilizaram-se duas estações meteorológicas da marca HOBO modelo H21-001 no monitoramento das variáveis climáticas.

Para a obtenção da temperatura radiante média, foram utilizados termômetros de globo de cobre, fixados na altura de 110cm, com  $\varnothing=2''$  (emissividade aproximada do globo = 0,95), pintados na cor RAL-7001 (cinza médio) (THORSSON et al., 2007), devido à absorção de radiação de onda curta ser semelhante à de pessoas vestidas, em torno de 0,70. Os globos estavam equipados com dois sensores de temperatura tipo sonda, 12-Bit (S-TMB-M002) e HOBO Pro V2 logger (U23-004). A  $T_{rm}$  foi calculada pela fórmula para convecção forçada, apresentada no Anexo B da ISO 7726 (1998, p.14).

A Tabela 2 apresenta a descrição estatística dos dados climáticos. Obteve-se uma variação climática bastante considerável. Em relação à temperatura, por exemplo, tem-se uma variação de 6,4°C a 32,6°C. O total de horas de monitoramento no espaço urbano foi de aproximadamente 70.

Tabela 2 – Descrição estatística dos dados climáticos

	$V_a$ (m/s)	RS (W/m <sup>2</sup> )	$T_a$ (°C)	UR (%)	$T_g$ (°C)	$T_{rm}$ (°C)
<b>Média</b>	1,1	298	19,4	56	21,9	30,1
<b>Mínimo</b>	0,0	1	6,4	23	7,6	8,6
<b>Máximo</b>	4,2	1.249	32,6	93	38,0	74,7
<b>Desvio padrão</b>	0,6	309	5,4	13	6,6	13,5
<b>Variância</b>	0,4	95451	29,4	172	43,0	182,0

Paralelamente ao monitoramento das variáveis climáticas, foram aplicados questionários de conforto, conforme a ISO 10551 (1995), envolvendo questões relativas à sensação térmica dos transeuntes. O questionário foi dividido em duas partes. A primeira referente aos dados pessoais: gênero, idade, altura, peso, local e tempo de moradia (aclimatação), vestimenta e tempo de exposição ao ambiente externo. Na segunda parte, referente à sensação térmica, há cinco questões sobre percepção, avaliação e preferências térmicas, aceitação pessoal e tolerância. Para cada questão foi aplicada uma escala de intensidade, de acordo com as definidas pela ISO 10551 (1995).

Do total de 2024 questionários obtidos foram considerados válidos 1685, segundo os seguintes critérios: (1) respondentes que declararam residir em Curitiba ou em sua Região Metropolitana por pelo menos 6 meses; (2) respondentes que declararam estar há pelo menos 15 minutos ao ar livre (ASHRAE, 2004), minimizando o efeito da exposição do indivíduo a outros gradientes térmicos anteriormente à aplicação do questionário; (3) respondentes que não responderam o mesmo valor (positivo ou negativo) na escala de percepção e de preferência térmica. A amostra pode ser caracterizada por gênero, idade, altura, peso e vestimenta (clo). Em relação aos dados pessoais, tem-se uma amostra bem diversificada, abrangendo várias faixas etárias, características físicas e diferentes condições de isolamento térmico da vestimenta (clo), conforme dados da análise descritiva, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise descritiva dos dados pessoais

	Idade	Altura (cm)	Peso (kg)	Peso (IMC)	clo
<b>Média</b>	38	169	71	25	0,74
<b>Mínimo</b>	13	130	40	15,9	0,2
<b>Máximo</b>	91	202	180	55,6	2,6
<b>Desvio padrão</b>	17,4	9,1	14,4	4,3	0,3
<b>Variância</b>	302,3	83,2	207,5	18,6	0,1

### 3.2. Obtenção das categorias de sensação térmica real

A definição das categorias de sensação térmica real teve como base as respostas obtidas por questionário, tendo sido considerada a associação dos votos de percepção e preferência térmica. Optou-se pela associação dos votos, pois, de acordo com Fanger (1982), a avaliação do conforto térmico está relacionada a fatores fisiológicos e psicológicos. Desta forma, as condições ambientais requeridas para o conforto térmico não são as mesmas para todos, sendo possível que uma pessoa que esteja sentindo algum grau de calor ou de frio declare estar confortável e aceite o ambiente térmico em questão ou que uma pessoa que declare estar em conforto prefira um ambiente termicamente diferente.

Foram definidas as seguintes categorias de sensação térmica real:

- Grupo 1: desconforto para o frio (voto de percepção < 0 associado ao voto de preferência > 0);
- Grupo 2: conforto (percepção = 0 e preferência = 0);
- Grupo 3: desconforto para o calor (percepção > 0 associado à preferência < 0).

A Tabela 4 mostra as frequências absolutas e relativas (em itálico) observadas do cruzamento das respostas de percepção e de preferência térmicas. A coluna central (em cinza escuro) mostra o número de pessoas que responderam estar em conforto. Observa-se que 23,8% (ou seja, 401/1685) declararam não preferir mudanças no ambiente térmico, enquanto aproximadamente 4,5% ((3+9+64)/1685) responderam preferir uma condição mais fria e aproximadamente 12,6%, preferir uma condição mais quente. A linha central (em cinza escuro) mostra a porcentagem de pessoas que mesmo sentindo algum grau de frio (5,9%) ou algum grau de calor (14,4%) preferiam continuar no mesmo tipo de ambiente térmico. A porção superior direita da tabela (em cinza claro) mostra a quantidade de pessoas que estavam sentindo calor e preferiam estar em um ambiente mais frio (21,2%) e a porção inferior esquerda (em cinza claro) mostra a porcentagem de pessoas que gostariam de estar em um ambiente térmico mais quente (17,6%).

Tabela 4 – Frequências e porcentagens observadas das respostas reais de percepção e de preferência térmicas

Preferência térmica	Percepção térmica							Frequência Porcentagem Total
	-3 muito frio	-2 frio	-1 leve frio	0 conforto	1 leve calor	2 calor	3 muito calor	
muito mais frio: -3	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	3 <i>0,18</i>	6 <i>0,36</i>	4 <i>0,24</i>	3 <i>0,18</i>	16 <i>0,95</i>
mais frio: -2	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	9 <i>0,53</i>	16 <i>0,95</i>	22 <i>1,31</i>	8 <i>0,47</i>	55 <i>3,26</i>
pouco mais frio: -1	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	64 <i>3,80</i>	148 <i>8,78</i>	104 <i>6,17</i>	46 <i>2,73</i>	362 <i>21,48</i>
sem mudanças: 0	1 <i>0,06</i>	22 <i>1,31</i>	77 <i>4,57</i>	401 <i>23,80</i>	176 <i>10,45</i>	58 <i>3,44</i>	8 <i>0,47</i>	743 <i>44,09</i>
pouco mais calor: 1	8 <i>0,47</i>	40 <i>2,37</i>	163 <i>9,67</i>	165 <i>9,79</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	376 <i>22,31</i>
mais calor: 2	4 <i>0,24</i>	22 <i>1,31</i>	34 <i>2,02</i>	34 <i>2,02</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	94 <i>5,58</i>
muito mais calor: 3	5 <i>0,30</i>	6 <i>0,36</i>	14 <i>0,83</i>	14 <i>0,83</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	39 <i>2,31</i>
Total	18 <i>1,07</i>	90 <i>5,34</i>	288 <i>17,09</i>	690 <i>40,95</i>	346 <i>20,53</i>	188 <i>11,16</i>	65 <i>3,86</i>	1.685 <i>100,00</i>

Considerando o cruzamento das respostas de percepção térmica e de preferência térmica, dados apresentados na coluna e na linha central (em cinza escuro) correspondem aos votos de conforto: ao somarmos as frequências absolutas e relativas, o resultado mostra 1032 indivíduos (61,2%) em conforto (grupo 2). A parte inferior esquerda da tabela representa os votos de desconforto para o frio. A soma destas frequências mostra que há 296 indivíduos (17,6%) em desconforto para o frio (grupo 1), e a parte superior direita da tabela representa o desconforto para o calor. A soma das frequências mostra 357 (21,2%) pessoas em desconforto para o calor (grupo 3).

### 3.3. Cálculo do índice de conforto PET

O índice PET foi calculado utilizando o programa *RayMan* 2.0, desenvolvido por Andreas Matzarakis e de domínio público (<http://www.mif.unifreiburg.de/RayMan>). Este programa permite a inserção de dados iniciais (input) das variáveis climáticas: Ta, UR, Trm e Va, e dados pessoais: gênero, idade, altura, peso, vestimenta (clo) e metabolismo. Estes dados podem ser inseridos manualmente um por um ou por meio de arquivos de texto separados por tabulação (“.txt”). Esta foi a opção escolhida devido ao grande número de dados obtidos. Os dados de saída (output) são as variáveis climáticas e os valores calculados do índice.

Em relação às variáveis climáticas, foram utilizados os valores obtidos nos levantamentos de campo. Quanto às variáveis pessoais, foi considerada a taxa metabólica de 165 W/m<sup>2</sup> ou 2,8 Met, correspondente à caminhada em superfície plana sem carga a 4 km/h e os valores referentes ao homem médio e à mulher média estabelecidos pela norma ISO 8996 (2004), isto é, o homem médio tem 30 anos, pesa 70kg e mede 1,75m de altura e a mulher média tem 30 anos, pesa 60kg e mede 1,70m de altura.

### 3.4. Obtenção das categorias de estresse térmico previstas pelo índice PET

As respostas previstas pelo índice foram agrupadas conforme as faixas de estresse térmico definidas pelo índice (Tabela 1). Sendo que as quatro gradações de estresse térmico mostradas na Tabela 1 (extremo, forte, moderado e leve) não foram consideradas.

A classificação foi definida da seguinte forma:

- Estresse térmico para o frio (PET < 18°C);
- Sem estresse térmico (18°C ≥ PET ≥ 23°C);

- Estresse térmico para o calor (PET > 23°C).

### 3.5. Análise comparativa da sensação térmica real e das respostas previstas pelo índice

As respostas reais, agrupadas nas três categorias de sensação térmica, apresentadas na seção 3.2, foram comparadas com as respostas previstas pelo índice PET, agrupadas nas três categorias de estresse térmico apresentadas na seção 3.4.

Foram comparadas as frequências relativas dos votos de sensação térmica, reais e previstos, em cada uma das três categorias. Também se analisou visualmente a relação entre os votos reais e as faixas de estresse térmico definida pelo índice, por meio de gráficos de bolha.

Os gráficos de bolha foram traçados considerando a sensação térmica real no eixo y e as categorias de estresse térmico do índice, no eixo x. Os tamanhos das bolhas representam uma terceira dimensão, correspondente ao número de pessoas. Quanto maior a bolha, maior a quantidade de pessoas e vice-versa. Analisou-se a quantidade de pessoas em cada uma das três categorias de estresse térmico definido pelo índice, verificando a faixa na qual está concentrada a maior parte das respostas das categorias de sensação térmica real (desconforto para o frio, conforto e desconforto para o calor).

### 3.6. Análise da relação entre sensação térmica real e variáveis climáticas

Para analisar as respostas de sensação térmica real e sua relação com as variáveis climáticas foram utilizados gráficos de dispersão. Para cada uma das categorias de sensação térmica real (desconforto para o frio, conforto e desconforto para o calor) foram traçados gráficos de dispersão das variáveis climáticas: temperatura do ar, efeito da radiação solar (diferença entre temperatura radiante média e temperatura do ar), umidade relativa e velocidade do ar. Foram analisadas as nuvens de pontos de cada uma das três categorias e definidas as faixas de cada variável climática na qual está concentrada a maior parte das respostas reais de sensação térmica.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa.

### 4.1. Análise comparativa entre sensação térmica real e o índice PET

A Tabela 5 apresenta as frequências relativas das três categorias de sensação térmica real e as categorias de estresse térmico obtidas pelo índice PET. Considerando a sensação térmica real, tem-se um maior número de pessoas em conforto (61,2%) e uma distribuição equilibrada entre pessoas com desconforto para o frio (17,6%) e para o calor (21,2%). O índice PET distribui de forma mais homogênea as pessoas em cada uma das categorias de estresse térmico, porém, subestima a quantidade de pessoas em conforto. A análise das frequências relativas mostra que as respostas previstas não são semelhantes às respostas reais. Uma explicação para a diferença encontrada pode estar no fato do índice considerar somente aspectos fisiológicos e climáticos, enquanto as respostas reais podem ser influenciadas por aspectos emocionais, psicológicos, socioculturais e adaptativos, sugerindo que os índices de conforto térmico não devem ser utilizados em diferentes zonas culturais e climáticas sem considerar características específicas aos locais envolvidos na avaliação ambiental (KNEZ, THORSSON, 2006).

Tabela 5 – Frequência relativa por categoria de sensação térmica

	Sensação térmica (%)	PET (%)
<b>Desconforto para o frio (1)</b>	17,6	40,7
<b>Conforto (2)</b>	61,2	22,2
<b>Desconforto para o calor (3)</b>	21,2	37,2
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Na Figura 2 é apresentada a distribuição das três categorias de sensação térmica real e das respostas previstas pelo índice PET. Analisando cada uma das faixas de estresse térmico definidas pelo índice, nota-se que há sobreposição das respostas reais nas três faixas, não sendo possível definir as faixas de temperatura PET para cada categoria. As respostas reais de desconforto para o frio estão entre os valores PET de 3°C a 30°C, os votos de conforto entre 3°C e 45°C e as respostas de desconforto para o calor, entre 9°C e 45°C. A maioria das respostas de desconforto para o frio (85%) está em valores PET abaixo de 18°C. Para o conforto, 74% dos votos estão entre 12°C e 27°C, e para o desconforto para calor, a maior parte das respostas (87%) está acima de 21°C. As três categorias se sobrepõem entre os valores PET de 9°C a 30°C, com 73% do total de pessoas em desconforto para o frio, 83% do total de pessoas em conforto e 63% do total de pessoas em desconforto para o calor.

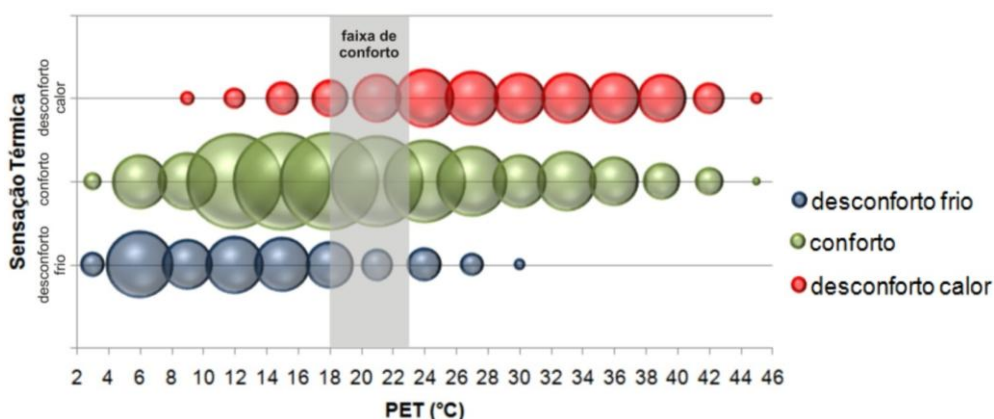


Figura 2 - Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função do índice PET

A Tabela 6 apresenta as faixas de estresse térmico do índice PET, as faixas de sensação térmica real e a sobreposição das respostas reais. Considerando a grande sobreposição das respostas reais nas três categorias de sensação térmica, é difícil prever a sensação térmica da população estudada por meio do índice analisado. A sobreposição das três categorias de sensação térmica (há votos das três categorias entre valores PET de 9°C a 30°C) torna difícil a separação de cada categoria em grupos bem definidos. Considerado as faixas de sensação térmica real, a categoria de desconforto para o frio é a única que mantém a mesma faixa original de estresse térmico do índice, isto é,  $PET < 18^{\circ}\text{C}$ . A categoria de conforto se sobrepõe com a categoria de desconforto para o frio entre os valores de  $12^{\circ}\text{C}$  e  $18^{\circ}\text{C}$ . Da mesma forma, há sobreposição das categorias de conforto e desconforto para o calor entre os valores de  $21^{\circ}\text{C}$  a  $27^{\circ}\text{C}$ .

A comparação entre as respostas reais de sensação térmica e as respostas previstas pelo índice PET sugere que este índice não é adequado para prever a sensação térmica da população de Curitiba, indicando a necessidade de calibração.

Tabela 6 – Faixas de sensação térmica definida pelo índice PET e faixa de sobreposição das respostas reais

	faixas definidas pelo índice	faixas definidas pela sensação térmica real	sobreposição
desconforto para o frio (1)	$PET < 18^{\circ}\text{C}$	$PET \leq 18^{\circ}\text{C}$	
conforto (2)	$18^{\circ}\text{C} \leq PET \leq 23^{\circ}\text{C}$	$12^{\circ}\text{C} \leq PET \leq 27^{\circ}\text{C}$	$9^{\circ}\text{C} \leq PET \leq 30^{\circ}\text{C}$
desconforto para o calor (3)	$PET > 23^{\circ}\text{C}$	$PET \geq 21^{\circ}\text{C}$	

#### 4.2. Análise entre sensação térmica real e as variáveis climáticas

As respostas reais de sensação térmica agrupadas nas três categorias – (1) desconforto para o frio, (2) conforto e (3) desconforto para o calor – foram analisadas em função das variáveis climáticas monitoradas. Foram traçados gráficos de dispersão em função da  $T_a$  e da  $RS$ , da diferença entre  $T_{rm}$  e  $T_a$  ( $T_{rm} - T_a$ ), da  $UR$  e da  $V_a$ .

A Figura 3 mostra as três categorias de sensação térmica em função da  $T_a$  e da  $RS$ . Novamente, há sobreposição das respostas das três categorias. A categoria de desconforto para o frio está concentrada em temperaturas de  $6,5^{\circ}\text{C}$  a  $24^{\circ}\text{C}$ , os votos de conforto estão entre os valores de  $6,4^{\circ}\text{C}$  a  $30,5^{\circ}\text{C}$  e as pessoas em desconforto para o calor, em valores de  $T_a > 11,7^{\circ}\text{C}$ . 82% das pessoas em desconforto para o calor se concentram em  $T_a > 22^{\circ}\text{C}$ , com ou sem o efeito da radiação solar. 73% dos votos de conforto e 78% de desconforto para o frio ocorrem em situações sombreadas ( $RS < 300 \text{ W/m}^2$ ).

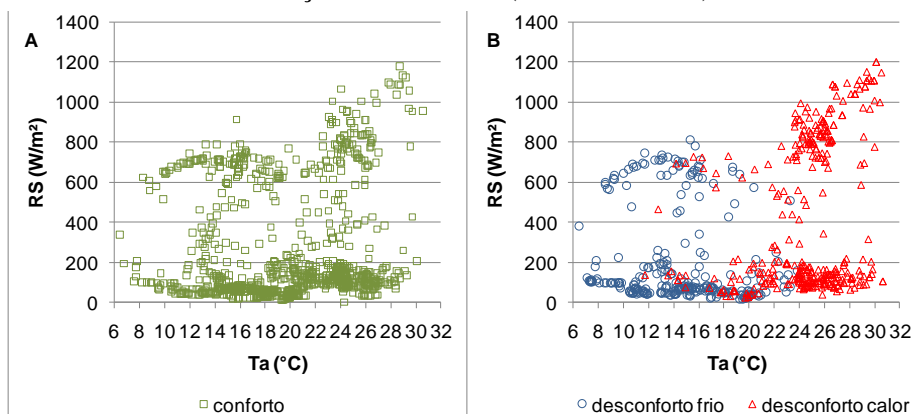


Figura 3 – Distribuição das respostas reais de conforto (A) e desconforto (B) em função da  $T_a$  e da  $RS$

Ao considerar o efeito da radiação solar como sendo a diferença entre a temperatura radiante média e a temperatura do ar (Figura 4), os votos de sensação térmica apresentam agrupamento semelhante ao agrupamento pela radiação solar, sendo que 77% dos votos de desconforto para o frio e 65% dos votos de conforto estão concentrados em condições de  $T_{rm}$  até  $10^{\circ}\text{C}$  mais alta que a  $T_a$ . A maior parte das respostas de desconforto para o calor (82%) está agrupada em  $T_a > 22^{\circ}\text{C}$ . Considerando os dados de desconforto para o frio e para o calor tem-se uma clara separação entre os grupos em função da  $T_a$ . Há desconforto para o calor em  $T_a > 22^{\circ}\text{C}$  e desconforto para o frio em  $T_a < 18^{\circ}\text{C}$ .

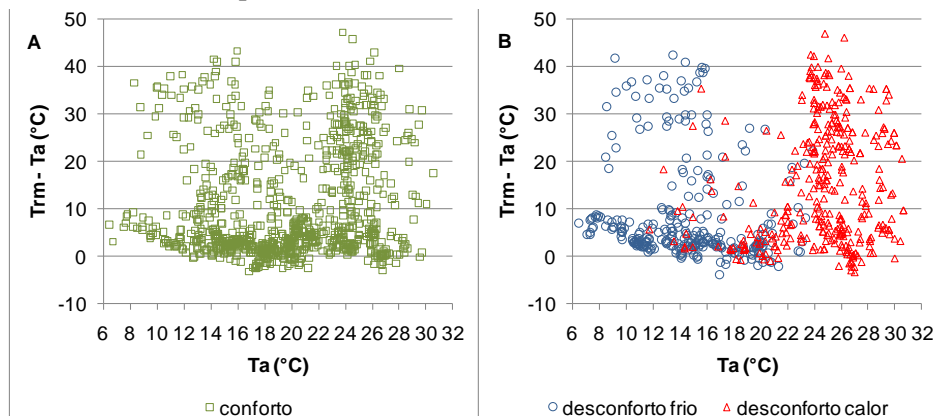


Figura 4 – Distribuição das respostas de conforto (A) e desconforto (B) em função da  $T_a$  e da diferença entre  $T_{rm}$  e  $T_a$

A Figura 5 apresenta o efeito da velocidade do ar na sensação térmica. Em função da sobreposição das três categorias, não é possível identificar o efeito da  $V_a$  na sensação térmica. A Figura 6 apresenta o efeito da umidade relativa na sensação térmica. Os votos de conforto estão agrupados em valores de UR de 23% a 93%, os votos de desconforto para o frio então entre os valores de UR de 25% a 93% e os votos de desconforto para o calor, em valores de 29% a 88%. Há sobreposição das três categorias em valores de UR de 29% a 88%, com 97% do total de pessoas em conforto e 93% do total de pessoas em desconforto para o frio.

A análise do efeito das variáveis climáticas nas três categorias de sensação térmica mostra que, em relação à  $V_a$  (Figura 5) e a UR (Figura 6), os votos estão misturados, não sendo possível definir com clareza as faixas de conforto e desconforto, sugerindo que a influência destas variáveis na sensação térmica é baixa.

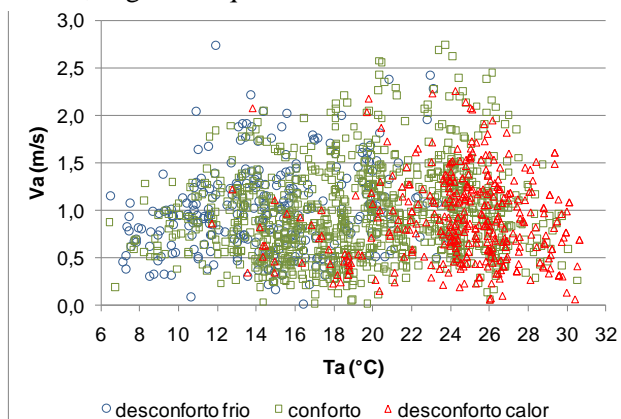


Figura 5 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função da  $T_a$  e da  $V_a$

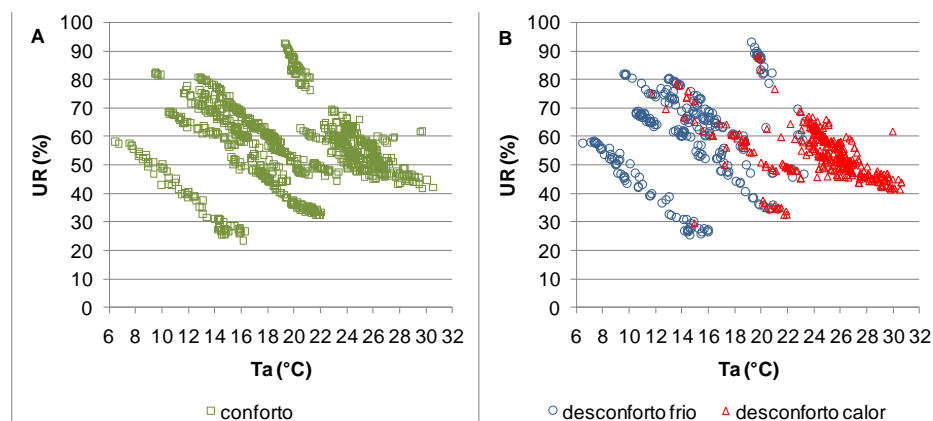


Figura 6 – Distribuição das respostas reais conforto (A) e desconforto (B) em função da  $T_a$  e da UR



Em relação à radiação solar e a temperatura do ar, é possível identificar as duas categorias de desconforto como grupos independentes (Figura 3). Há desconforto para o frio em temperaturas do ar inferiores a 18°C e com pouca incidência solar, isto é, valores de RS inferiores a 300 W/m<sup>2</sup> ou diferença entre Trm e Ta de até 10°C. O desconforto para o calor ocorre em temperaturas superiores a 22°C, independentemente do efeito da radiação solar. A Tabela 7 mostra as faixas de cada variável climática para cada categoria de sensação térmica e a sobreposição das três categorias.

Tabela 7 – Faixas climáticas por categoria de sensação térmica e sobreposição das três categorias

	Sensação Térmica	faixas	sobreposição
<b>Ta</b>	desconforto para o frio (1)	$7^{\circ}\text{C} \leq \text{Ta} \leq 21^{\circ}\text{C}$	
	conforto (2)	$6^{\circ}\text{C} \leq \text{Ta} \leq 31^{\circ}\text{C}$	$12^{\circ}\text{C} \leq \text{Ta} \leq 24^{\circ}\text{C}$
	desconforto para o calor (3)	$12^{\circ}\text{C} \leq \text{Ta} \leq 31^{\circ}\text{C}$	
<b>RS</b>	desconforto para o frio (1)	$\text{RS} \leq 300 \text{ W/m}^2$	
	conforto (2)	$\text{RS} \leq 300 \text{ W/m}^2$	$\text{RS} \leq 300 \text{ W/m}^2$
	desconforto para o calor (3)	$\text{RS} \geq 35 \text{ W/m}^2$	
<b>Trm-Ta</b>	desconforto para o frio (1)	$-2 \leq \text{Trm-Ta} \leq 10^{\circ}\text{C}$	
	conforto (2)	$-3 \leq \text{Trm-Ta} \leq 31^{\circ}\text{C}$	$-1 \leq \text{Trm-Ta} \leq 10^{\circ}\text{C}$
	desconforto para o calor (3)	$-1 \leq \text{Trm-Ta} \leq 35^{\circ}\text{C}$	
<b>Va</b>	desconforto para o frio (1)	$0,3 \text{ m/s} \leq \text{Va} \leq 1,4 \text{ m/s}$	
	conforto (2)	$0,3 \text{ m/s} \leq \text{Va} \leq 1,6 \text{ m/s}$	$0,3 \text{ m/s} \leq \text{Va} \leq 1,4 \text{ m/s}$
	desconforto para o calor (3)	$0,3 \text{ m/s} \leq \text{Va} \leq 1,6 \text{ m/s}$	
<b>UR</b>	desconforto para o frio (1)	$25\% \leq \text{UR} \leq 95\%$	
	conforto (2)	$23\% \leq \text{UR} \leq 93\%$	$29\% \leq \text{UR} \leq 88\%$
	desconforto para o calor (3)	$29\% \leq \text{UR} \leq 88\%$	

As análises do efeito das variáveis climáticas na sensação térmica mostram que a temperatura do ar tem maior influência na sensação térmica que o efeito da radiação solar, da velocidade do ar e da umidade relativa. Este resultado é reforçado pela análise da correlação entre as variáveis climáticas e a sensação térmica (Tabela 8). Dentre as variáveis apresentadas, a que tem maior correlação com a sensação térmica é a temperatura do ar ( $R=0,57$ ). A correlação entre a sensação térmica e a velocidade do ar é negativa, indicando que, à medida que a velocidade do ar aumenta, a sensação térmica diminui, o mesmo ocorre com a umidade relativa. A correlação entre a sensação térmica e as demais variáveis climáticas é positiva, indicando que quanto maior a temperatura, a radiação solar e a temperatura radiante média, mais alto será o desconforto para o calor. A baixa correlação entre a sensação térmica e as variáveis climáticas pode ser explicada pela grande mistura das três categorias de sensação térmica (Figuras 3 a 6), indicando a dificuldade de classificar cada indivíduo em uma das três categorias, segundo a variável climática em análise.

Tabela 8 – Correlações entre a sensação térmica e as variáveis: Ta, RS, Trm-Ta, Va e UR

		Ta	RS	Trm-Ta	Va	UR
Sensação térmica	Correlação Pearson	0,572**	0,228**	0,176**	0,375**	-0,152**
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	1685	1685	1685	1685	1685

## 6. CONCLUSÕES

A comparação da frequência relativa das respostas reais de sensação térmica e das respostas previstas pelo índice PET para Curitiba mostra que o índice subestima a quantidade de pessoas em conforto e superestima a quantidade de pessoas em desconforto tanto para o calor quanto para o frio. Ao analisar as respostas reais em função das faixas definidas pelo índice PET, observou-se que há sobreposição das três categorias de sensação térmica.

Há sobreposição entre os valores PET de 9°C e 30°C, sendo que o desconforto para o frio se concentra em valores PET abaixo de 18°C e o desconforto para o calor, em valores PET acima de 21°C. A faixa de conforto se sobrepõe à de desconforto para o frio entre os valores PET de 12°C a 18°C; enquanto que, há sobreposição entre as faixas de conforto e desconforto para o calor entre os valores PET de 21°C e 27°C. Devido à grande sobreposição das respostas reais nas três categorias de estresse térmico, é difícil separar as categorias de sensação térmica real dentro dos grupos de estresse térmico definidos pelo índice e, como consequência, prever a sensação térmica real da população estudada por meio do índice analisado.

Em relação à análise das respostas reais de sensação térmica em função das variáveis climáticas monitoradas, verificou-se novamente a sobreposição das três categorias de sensação (desconforto para o frio, conforto e desconforto para o calor). A partir das análises dos gráficos de dispersão é possível definir dois

grupos distintos: desconforto para o frio e desconforto para o calor. As respostas de conforto se misturam com as de desconforto, não sendo possível definir um grupo separado. Observa-se que há desconforto para o calor para  $T_a > 22^\circ\text{C}$ , independentemente do efeito da radiação e desconforto para o frio para  $T_a < 18^\circ\text{C}$  com pouca incidência solar, isto é, radiação solar inferior a  $300 \text{ W/m}^2$  ou diferença entre  $T_{\text{rm}}$  e  $T_a$  de até  $10^\circ\text{C}$ . Não é possível distinguir faixas para cada categoria de sensação térmica em função da velocidade do ar e da umidade relativa. A grande amplitude térmica diária de Curitiba, com média anual de  $16^\circ\text{C}$ , pode explicar a grande dispersão das respostas de conforto em função da temperatura do ar.

Várias pesquisas têm sido desenvolvidas nos últimos anos com o objetivo de verificar a aplicabilidade de alguns índices de conforto para diferentes realidades climáticas brasileiras. Os resultados destas pesquisas mostram que as respostas reais e as previstas pelos índices não são iguais, sugerindo que os índices analisados precisam ser calibrados para as condições climáticas estudadas. A comparação entre as respostas reais e as previstas pelo índice PET mostra a dificuldade de previsão da sensação térmica da população de Curitiba a partir de índices desenvolvidos em outros contextos climáticos, econômicos e sócio-culturais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Effects of street design on outdoor thermal comfort. In: Kiss, A., Mezösi, G., Sümeghy, Z. (eds.). *Landscape, Environment and Society. Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged*, p.45-55, 2006.
- ASHRAE. **Standard 55** - Thermal environmental conditions for human occupancy. ASHRAE, Atlanta, 2004.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2003.
- BARLATI, Amanda B.; BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina L. Calçada de Presidente Prudente – SP: o conforto térmico em espaços públicos abertos. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. *Anais...* Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.
- FANGER, P. O. Thermal Comfort. Florida: Robert E. Krieger Publishing Co., 1982.
- GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. Nova Iorque: ITP, 1998.
- HIRASHIMA, Simone Q. da S. Calibração do índice de conforto térmico temperatura fisiológica equivalente PET para espaços abertos do município de Belo Horizonte, MG. 2010, 225f. **Dissertação** (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- HÖPPE, P. The Physiological Equivalent Temperature: an index for the biometeorological assessment of the thermal environment. In: **International Journal of Biometeorology**, n.43, p. 71-75, 1999.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8896. Ergonomics of the thermal environments – Determination of thermal metabolic rate**. Genève: ISO, 2004.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726. Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities**. Genève: ISO, 1998.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10551. Ergonomics of the thermal environments – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales**. Genève: ISO, 1995.
- JOHANSSON, E. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. **Building and Environment**, v.41, p.1326–1338, 2006. [doi:10.1016/j.buildenv.2005.05.022](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.022)
- JOHANSSON, E.; EMMANUEL, R. The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Biometeorology**, v.51, p. 119-133, 2006. [doi:10.1007/s00484-006-0047-6](https://doi.org/10.1007/s00484-006-0047-6)
- KATZSCHNER, L.; MÜLDER, J. Regional climatic mapping as a tool for sustainable development. **Journal of Environmental Management**, v.87, p.262-267, 2005. [doi:10.1016/j.jenvman.2006.06.026](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.06.026)
- KNEZ, Igor; THORSSON, Sofia. Influence of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square. **International Journal of Biometeorology**, v.50, p.258-268, 2006. [doi: 10.1007/s00484-006-0024-0](https://doi.org/10.1007/s00484-006-0024-0).
- LOIS, Érica; LABAKI, Lucila C. Conforto Térmico em Espaços Externos: uma revisão. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001, São Pedro. *Anais...* São Pedro: ANTAC, 2001.
- MAYER, Helmut; MATZARAKIS, Andreas. Human-biometeorological assessment of urban microclimates' thermal component. In: Japanese-German Meetings "Klimaanalyse für die Stadtplanung", 2. Toward Reconstruction in Kobe. Report of Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, **Special Report**, n.1, p. 155-168. 1998.
- MONTEIRO, Leonardo M. Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos. 2008. 382 f. **Tese** (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- ROSSI, Francine A.; KRÜGER, Eduardo L.; BRÖDE, Peter. Definição de faixas de estresse térmico para espaços abertos em Curitiba, Paraná. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. *Anais...* Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.
- ROSSI, Francine A.; KRÜGER, Eduardo L.; NIKOLOPOULOU, Marialena A influência da configuração urbana no microclima e sensação térmica em ruas de pedestre de Curitiba, Paraná. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. *Anais...* Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.
- SHIMAKAWA, Andréa H.; BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina L. Aplicação dos modelos preditivos de conforto PET e PMV em Presidente Prudente-SP: estudo de caso - parque do povo. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. *Anais...* Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.
- THORSSON, S.; LINDBERG, F.; ELIASSON, I.; HOLMER, B. Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. **International Journal of Biometeorology**, v.27, p.1983–1993, 2007. [doi:10.1002/joc.1537](https://doi.org/10.1002/joc.1537)

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à CAPES pelo apoio financeiro sob a forma de Projeto Universal, concessão de bolsas de mestrado, doutorado e doutorado sanduíche.