

MEDIÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO EM ÁREAS PÚBLICAS URBANAS DE SALVADOR-BA E CALIBRAÇÃO DO ÍNDICE DE CONFORTO PET USANDO A TÉCNICA ÁRVORE DE DECISÃO

THERMAL COMFORT MEASUREMENTS IN URBAN PUBLIC AREAS AND PET COMFORT INDEX CALIBRATION USING DECISION TREE TECHNIQUE

Telma Côrtes Quadros de Andrade

Doutora em Geofísica / USP. Escola de Administração da Universidade Federal da Bahia / UFBA. (cortes@ufba.br)

Jussana Maria Fahel Guimarães Nery

Mestre em Arquitetura e Urbanismo / UFBA. Escola de Administração da Universidade Federal da Bahia - UFBA. (jussana.nery@gmail.com)

Sandra Helena Miranda de Souza

Mestre em Engenharia Ambiental Urbana / UFBA. Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia / UFBA. (sandramiranda07@hotmail.com)

Cira Souza Pitombo

Doutora em Engenharia Civil (Transportes) / Escola de Engenharia de São Carlos / USP. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo / USP. (cirapitombo@gmail.com)

Tereza Maria Moura Freire

Mestrado em Environmental Design and Engineering / University College London, University of London. Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia / UFBA. (tereza_moura@terra.com.br)

Lutz Katzschner

PhD in Urban Climate and Urban Structures / University of Kassel (Germany). University of Kassel. (katzschn@uni-kassel.de)

Resumo

O Clima Urbano, uma construção social, tende a degradar as condições de conforto térmico das cidades, comprometendo a qualidade de vida de suas populações. Para avaliar e promover o conforto térmico urbano, é necessário utilizar um índice que incorpore tanto as variáveis ambientais como as individuais, e possa integrar e expressar a percepção térmica reportada pelas pessoas. Esse índice precisa ser calibrado para a população aclimatada antes de servir como uma importante ferramenta de gestão pública. Esta pesquisa teve este objetivo, calibrar o Índice de Conforto Térmico PET (°C) – Temperatura Fisiológica Equivalente – para os habitantes de Salvador. A metodologia constou do levantamento das variáveis ambientais, através de medições com estações meteorológicas móveis, e da opinião dos usuários quanto à percepção térmica, em áreas públicas, em uma amostra envolvendo 1.435 entrevistas a indivíduos residentes em Salvador. Para a calibração do Índice PET, utilizou-se a técnica de mineração de dados Árvore de Decisão, associando intervalos desse índice à percepção térmica relatada em uma escala de sete categorias, de muito calor a muito frio. Obteve-se, estatisticamente, o limite inferior da categoria Muito Calor, PET (°C) $\geq 34,1^{\circ}\text{C}$; e os intervalos 29,4 a 34,1°C e 26,8 a 29,4°C, respectivamente, para as categorias Calor e Pouco Calor. Para a categoria Conforto Térmico, apenas o limite superior, PET (°C) $\leq 26,8^{\circ}\text{C}$, pode ser estabelecido. Assim, conclui-se que, para se alcançar o conforto térmico em áreas urbanas em Salvador, o Índice PET deve estar abaixo dos 26,8°C, e que o limite inferior deste intervalo de conforto não pode ser delimitado devido à inexistência de condições de estresse térmico negativo (frio) em clima tropical úmido.

Palavras Chave: Percepção Térmica; Índice de Conforto Térmico PET; Árvore de Decisão; Clima Urbano de Salvador – BA.

Abstract

Urban Climate, considered as a social construct, tends to degrade thermal comfort conditions of cities, compromising the quality of life of urban inhabitants. To assess and promote thermal comfort it is necessary to adopt an index which incorporates all environmental and individual integrated variables involved in the thermal perception process of the human body, as reported by people. This index needs to be calibrated to acclimatized people before it can be used as an important public management tool for improving the environmental thermal comfort of cities. This research is aimed at calibrating the thermal comfort index PET (Physiological Equivalent Temperature) ($^{\circ}\text{C}$) for acclimatized inhabitants of Salvador. The methodology adopted involved carrying out measurements of environmental variables using mobile meteorological stations and simultaneously interviewing pedestrians regarding their thermal perception in two open urban spaces. To calibrate PET index, researchers conducted 1,435 interviews and statistically analyzed the results by the data mining technique, Decision Tree (DT), by associating PET intervals ($^{\circ}\text{C}$) to the reported thermal perception, obtained using a seven-point scale from Hot to Cold. Applying the DT technique indicated category Hot for PET index $\geq 34.1^{\circ}\text{C}$, Warm for $29.4\text{--}34.1^{\circ}\text{C}$, and Slightly Warm for $26.8\text{--}29.4^{\circ}\text{C}$. For the Comfortable category, only the upper limit of PET could be established as PET ($^{\circ}\text{C}$) $\leq 26.8^{\circ}\text{C}$, indicating that to obtain thermal comfort in urban areas in Salvador, PET should not achieve a value above 26.8°C and that the lower comfort limit could not be determined, typically because of nonexistent negative thermal stress conditions (cold) in humid tropical climates such as Salvador. To conclude, the study proposes PET index $\leq 26.8^{\circ}\text{C}$ as the upper limit for the Comfortable category for Salvador, Brazil.

Key-words: Thermal perception; Thermal Comfort Index PET; Decision Tree

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as cidades concentram mais da metade da população mundial e são potencialmente territórios com grande riqueza e diversidade econômica, ambiental, política e cultural. No entanto, são também locais caracterizados por revelar elevados níveis de concentração de renda e de poder, e por possuírem elementos que contribuem para perpetuar, e mesmo agravar, os processos que produzem as desigualdades sociais e espaciais e que geram degradação ambiental.

O Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Estatística (IBGE) em 2010 mostra uma contínua migração das populações das áreas rurais para as cidades no Brasil, o que resulta em adensamento das construções, diminuição de áreas verdes e concentração de atividades poluentes e geradoras de calor. Como consequência dessa intensiva urbanização, as cidades têm alterado o clima local, resultando no que se conceitua como Clima Urbano. Este último tem como características principais o aumento das temperaturas do ar e da radiação de

comprimento de ondas curto e longo, em comparação com áreas circunvizinhas menos urbanizadas.

A minimização dos efeitos das mudanças climáticas na escala global é responsabilidade de todas as nações e envolve desde grandes decisões políticas a simples mudanças pessoais. Em áreas urbanas, mudanças climáticas, saúde, conforto e energia estão mais fortemente inter-relacionados. A mudança climática global é potencializada pela alteração do clima urbano e vice-versa. Manter ou até melhorar as condições térmicas das cidades pressupõe o conhecimento do clima local e das condições de conforto térmico a que a sua população está submetida. Como a percepção de conforto térmico do ser humano resulta da interação de diversas variáveis ambientais e individuais, faz-se necessária a utilização de um índice que incorpore essas variáveis, expressando a percepção térmica do indivíduo. Esse índice precisa ser testado ou calibrado para cada condição climática e sua respectiva população, antes de servir como ferramenta para avaliação do conforto

térmico em ambientes urbanos e de gestão pública das cidades.

Neste trabalho, foi escolhido o Índice de Conforto Térmico (PET °C), que resulta do balanço de energia entre o corpo humano e as condições climáticas locais. No entanto, a complexidade das variáveis qualitativas e quantitativas oriundas das condições climáticas, fisiológicas e de percepção humana requer a utilização de técnicas estatísticas de análise multivariada de dados para a calibração do índice PET, o que significa relacionar intervalos numéricos da percepção térmica relatada ao Índice PET (°C). Nesta pesquisa, para a análise exploratória dos dados, utilizou-se a ferramenta de avaliação da dispersão dos dados, os gráficos Box-Plot e a técnica de mineração de dados Árvore de Decisão, para a calibração do Índice PET (°C).

Este trabalho teve como objetivo a calibração do referido índice para a população adaptada às condições climáticas da Cidade do Salvador, no estado da Bahia, associando intervalos de temperatura do Índice PET (°C) à percepção térmica através da análise de dados Árvore de Decisão. Os resultados encontrados para Salvador foram comparados com os resultados obtidos em cidades com diferentes latitudes e condições climáticas, no Brasil e exterior.

2. PERCEPÇÃO TÉRMICA

O ser humano é capaz de perceber diferentes sensações térmicas, definidas por Matzarakis e Mayer (1999) em nove categorias relacionadas às faixas do Índice PET (°C) e associadas à percepção térmica humana e ao estresse térmico fisiológico (Quadro 1).

Quadro 1 – Faixa do Índice PET para diferentes níveis de percepção térmica

PET (°C)	PERCEPÇÃO TÉRMICA	ESTRESSE FISIOLÓGICO
Abaixo de 4	Muito frio	Extremo estresse negativo
4 – 8	Frio	Forte estresse negativo
8 – 13	Pouco frio	Moderado estresse negativo
13 – 18	Ligeiramente frio	Leve estresse negativo
18 – 23	Confortável	Não há estresse térmico
23 – 29	Ligeiramente quente	Leve estresse positivo
29 – 35	Pouco quente	Moderado estresse positivo
35 – 41	Quente	Forte estresse positivo
Acima de 41	Muito quente	Extremo estresse positivo

Fonte: Adaptado de Matzarakis e Mayer (1999).

Por outro lado, Guyton (1992), estabelece sete categorias para a sensação térmica: frio congelante, frio, frescor, indiferente, morno, quente e calor queimante. Tanto a categoria indiferente como a confortável correspondem à neutralidade térmica, definida pela NBR 15.220-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) como o estado físico no qual a densidade de fluxo de calor entre o corpo humano e o ambiente é igual à taxa metabólica do corpo, sendo mantida constante a temperatura do corpo. A sensação de conforto térmico, também pela mesma

norma, é definida como a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente, o qual, teoricamente, deveria estar proporcionando a condição de neutralidade térmica. Além das condições ambientais, os fatores culturais e individuais também interferem na sensação de conforto. Assim, neste trabalho, será utilizada a percepção térmica, pois a mesma engloba as questões subjetivas inerentes a cada indivíduo.

A equação do balanço térmico que regula o fluxo de calor entre o corpo e o ambiente é função das trocas térmicas por

radiação, convecção, condução e evaporação, em que cada uma das parcelas é influenciada por variáveis ambientais – temperatura do ar, temperatura radiante média, pressão de vapor e velocidade do ar –, além das variáveis individuais, representadas pela idade, gênero, peso, altura, atividade e vestimenta.

Desde o início do século XX, índices e escalas de conforto têm sido propostos objetivando interpretar essas variáveis ambientais e individuais do ponto de vista da sensação térmica. Na década de 70, Fanger (1970) propôs o índice Predicted Mean Vote (PMV), adotado por normas internacionais, como a ISO 7.730 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005) e a ASHRAE 55 (2004 apud STEANE; STEEMERS, 2004), as quais utilizam uma escala de sete níveis, para classificar as sensações térmicas fisiologicamente percebidas: muito quente, quente, ligeiramente quente, confortável, ligeiramente frio, frio, muito frio.

3. ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO PET (°C)

Neste trabalho, foi utilizado o Índice PET (°C) proposto por Höppe e Mayer (HÖPPE, 1999), o qual traduz o efeito integrado dos parâmetros meteorológicos

relevantes na troca de calor entre o corpo e o meio ambiente, considerando ainda as variáveis individuais, sendo o resultado apresentado na escala Celsius.

Em uma condição ambiental definida, o balanço térmico do corpo humano é mantido com suas temperaturas corporal (interna) e superficial (pele) iguais àquelas submetidas às condições do ambiente-referência, aqui denominado Ambiente Padrão (P) (HÖPPE, 1999). No Ambiente Padrão, é estabelecido que a temperatura radiante média (T_{rm}) em °C é igual à temperatura do ar (T_a) em °C, a velocidade do ar (V) igual a 0,1m/s, e a pressão de vapor d'água (P_v) igual a 12hPa. Por exemplo, em um determinado ambiente, aqui denominado Ambiente Analisado, foram medidas as variáveis seguintes: $T_a = 29,2^\circ\text{C}$; $P_v = 26,4\text{hPa}$; $V = 0,9\text{m/s}$, e calculada a $T_{rm} = 26,0^\circ\text{C}$. Para essas condições, o valor calculado para o Índice PET foi igual a $26,8^\circ\text{C}$, considerando um indivíduo do gênero masculino, idade 40 anos, altura 1,63m, massa 58kg, em atividade metabólica de 115W e isolamento térmico da vestimenta 0,5 clo, sendo Clo a unidade que representa o índice de resistência térmica da vestimenta. Esse valor nas condições do ambiente padrão corresponderia à temperatura do ar (T_a) igual a $26,8^\circ\text{C}$ (Tabela 1).

Tabela 1 – Índice PET (°C) calculado a partir das variáveis medidas no ambiente analisado e sua equivalência com ambiente padrão

Ambiente Analisado*		Ambiente Padrão (P)
$T_a = 29,2^\circ\text{C}$	Variáveis Medidas	$T_a = 26,8^\circ\text{C}$
$T_{rm} = 26,0^\circ\text{C}$		$T_{rm} = T_a = 26,8^\circ\text{C}$
$V = 0,9\text{ m/s}$		$V = 0,1\text{ m/s}$
$P_v = 26,4\text{ hPa}$		$P_v = 12\text{ hPa}$
$PET = 26,8^\circ\text{C}$	Calculada e correspondente a T_a do ambiente padrão	$PET = 26,8^\circ\text{C} = T_a^\circ\text{C}$

*Campanha 01, Praça Piedade, Questionário 01, 01-08-2009, 14:14h

Fonte: Autores.

Para obter o Índice PET (°C), calculam-se as temperaturas superficial e interna do corpo humano utilizando-se o

modelo *Munich Energy-Balance Model for Individuals* (MEMI) (HÖPPE (1999), que consiste em um conjunto de equações

biomédicas que detalham cada parcela da equação de balanço térmico (Equação 1). Essa Equação 1 expressa a relação entre a carga térmica do corpo humano e as variáveis climáticas e individuais.

$$M + W + R + C + E_d + E_{re} + E_{SW} + S = 0$$

Equação (1)

Onde:

M = taxa metabólica (watts);
 W = produto do trabalho físico (watt);
 R = fluxo por radiação (watt);
 C = fluxo de calor por convecção (watt); E_d
 = fluxo de calor latente para evaporação da água difusa pela pele (watts); E_{re} = soma do fluxo de calor para aquecer e umedecer o ar inspirado (watts); E_{SW} = fluxo de calor devido à evaporação do suor (watt); S =

$$C \text{ (watt)} = f(T_a, V_a, T_{psis});$$

$$E_{re} \text{ (watt)} = f(T_a, P_v, T_{corpo});$$

$$E_d \text{ (watt)} = f(P_v, T_{psis});$$

$$E_{SW} \text{ (watt)} = f(P_v, T_{psis});$$

Cada uma dessas parcelas que regem o fluxo térmico pode ser definida, genericamente, pela Equação 2 que regula o fluxo térmico. O coeficiente global de transmissão de calor (U) toma valores específicos para cada termo da Equação 1 em função de como ocorre a transmissão de calor, ou seja, radiação, condução ou convecção, ou suas combinações.

$$Q \text{ (watt)} = UA\Delta T$$

Equação (2)

Onde:

Q = Fluxo Térmico; U = coeficiente global de transmissão de calor ($W/m^2\text{°C}$); A = área através da qual o fluxo passa (m^2); ΔT = diferença de temperatura entre o corpo e o ar (°C).

Quando o resultado da equação do balanço térmico é zero, isto é, equilíbrio

fluxo de calor armazenado para aquecer e resfriar a massa corpórea (watt).

Na equação do balanço térmico do corpo humano (Equação 1), as parcelas M (taxa metabólica), W (atividade física) e S (fluxo de calor para aquecer ou resfriar a massa corpórea) são funções das variáveis individuais (atividade, idade, gênero, altura, massa e vestimenta), enquanto as demais constituem funções das variáveis ambientais: C e E_{re} são funções da temperatura do ar; E_d , E_{re} e E_{SW} , da pressão de vapor; C também é função da velocidade do ar; e R , da temperatura radiante média.

$$R \text{ (watt)} = f(T_{rm}, T_{psis});$$

$$W \text{ (watt)} = f(\text{trabalho físico});$$

$$S \text{ (watt)} = f(\text{massa corporal})$$

térmico, significa que o corpo humano está perdendo calor para o ambiente na medida exata do calor produzido pelo corpo. Nesse caso, considera-se este um ambiente de neutralidade térmica. Em um ambiente de estresse térmico positivo, o resultado da Equação 1 seria maior do que zero e, nesse ambiente, o corpo humano estaria ganhando mais calor do que perdendo. O contrário aconteceria em um ambiente de estresse térmico negativo: o resultado da Equação 1 seria menor do que zero e, nesse ambiente, o corpo humano estaria perdendo mais calor do que o produzido pelo corpo.

O cálculo do Índice PET (°C) se procede em duas etapas. Na primeira, calculam-se a temperatura superficial do corpo e a temperatura corporal interna através da série de equações biomédicas estruturadas no MEMI, onde

$$T_{pele}(\text{°C}) = f(T_a, T_{rm}, V, P_v \text{ do Ambiente Analisado; variáveis individuais});$$

$$T_{\text{corpo}}(^{\circ}\text{C}) = f(T_a, T_{\text{rm}}, V, P_v \text{ do Ambiente Analisado; variáveis individuais})$$

Na segunda etapa, calcula-se a temperatura do ar do Ambiente Padrão (P) em graus Celsius, a partir das temperaturas superficial e corporal interna ($^{\circ}\text{C}$), obtidas na primeira etapa.

$$T_a \text{ do Ambiente Padrão (P)}(^{\circ}\text{C}) = f(T_{\text{pele}}, T_{\text{corpo}}; T_{\text{rm}}, V, P_v \text{ do Ambiente Padrão})$$

$$T_a \text{ do Ambiente Padrão (P)} = \text{Índice PET do Ambiente Analisado (A)}$$

O Modelo PET foi detalhado por Andreas Matzarakis e Bas Amelung (2008) e sistematizado em aplicativos computacionais, sendo seu algoritmo apresentado em linguagens de programação, originalmente por Höppe (1993; 1999), e disponível no *Technical Input Report n.1: Methodologies and Findings of User's Wind Comfort Level Survey* (CHINESE UNIVERSITY OF HONG-KONG, 2008). Neste trabalho, o Índice PET foi calculado através do programa *RayMan*® disponível em <http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman>.

O Índice PET ($^{\circ}\text{C}$) teve sua faixa de conforto térmico inicialmente estabelecida entre os valores de 22 a 24 $^{\circ}\text{C}$ (HÖPPE, 1999). Desde então, estudos têm sido realizados em populações aclimatadas em diferentes regiões para verificação ou calibração dessa faixa de conforto proposta, como, por exemplo, o presente trabalho.

Fé *et al.* (2007) avaliaram a adequação do Índice PET ($^{\circ}\text{C}$) considerando a população de alunos de uma edificação escolar na Cidade do Salvador, Bahia, através do levantamento da percepção térmica simultaneamente às medições de variáveis ambientais. Os dados foram tratados através de modelo não linear denominado probit, que foi utilizado para estimar a proporção de indivíduos insatisfeitos por estresse térmico positivo ou negativo. Os autores concluíram que o limite superior de conforto térmico PET ($^{\circ}\text{C}$) estaria subestimado, ou seja, os usuários aclimatados estariam adaptados às condições térmicas mais elevadas do que as previstas originalmente por esse

O valor da temperatura do ar encontrado para o Ambiente Padrão é tomado como o valor do Índice PET ($^{\circ}\text{C}$) para o Ambiente Analisado (A).

Índice. Com base nessa análise, o limite superior obtido para o Índice PET foi de 26,6 $^{\circ}\text{C}$, em lugar de 24 $^{\circ}\text{C}$ como proposto por Höppe (1999).

Hirashima (2010), utilizando metodologia similar a Fé *et al.* (2007), para população adulta em espaços abertos do município de Belo Horizonte, Minas Gerais, e tratando os resultados através de análise descritiva e regressão logística ordinal, delimitou três intervalos para o Índice PET ($^{\circ}\text{C}$): confortável, que teve como limite superior 30,5 $^{\circ}\text{C}$; calor ou estresse térmico positivo, entre 30,5 a 35,0 $^{\circ}\text{C}$; e muito calor acima de 35,0 $^{\circ}\text{C}$.

Em ambos os trabalhos, não foi possível definir o limite inferior de conforto térmico PET ($^{\circ}\text{C}$), assim como outros intervalos, apesar de utilizarem, como premissa, a escala de sete pontos da norma internacional ISO 10.551 (ISO, 1995) e ISO 7.730 (ISO, 2005) para a avaliação das condições térmicas dos ambientes.

4. ÁRVORE DE DECISÃO

A técnica de mineração de dados utilizada neste trabalho foi Árvore de Decisão (AD), considerada uma forma simples de representação de relações existentes em um conjunto de dados. Possui esse nome porque a sua estrutura se assemelha a uma árvore, cujos dados são segregados em subgrupos, com base nos valores da variável independente (índice PET em $^{\circ}\text{C}$).

Os modelos de árvores fornecem uma alternativa a problemas de regressão e classificação. Esses modelos são ajustados por sucessivas divisões binárias de dados,

com a finalidade de obter subconjuntos cada vez mais homogêneos, em relação à variável PET (°C). O resultado é uma árvore hierárquica de regras de decisão utilizadas para prever ou classificar. O algoritmo usado para dividir os dados nos modelos de árvore procura encontrar a partição dos valores da variável independente, ou seja, aquelas partições que fornecem a máxima segregação nos dados (WESTPHAL; BLAXTON, 1998).

Uma árvore de decisão pode ser definida como um gráfico acíclico e direto que satisfaz as seguintes propriedades, de acordo com Safavian e Landgrebe (1991): (1) a hierarquia é denominada árvore e cada segmento é denominado nó; (2) há um nó, chamado raiz, que contém todo o banco de dados; (3) este nó contém dados que podem ser subdivididos dentro de outros subnós, chamados de nós filhos; (4) existe um único caminho entre o nó raiz e

cada nó; (5) quando os dados do nó não podem ser mais subdivididos dentro de um outro subconjunto, ele é considerado um nó terminal ou folha.

5. METODOLOGIA

Para a pesquisa de campo, foram escolhidas duas áreas públicas urbanas localizadas em sítios com diferentes características geomorfológicas, urbanísticas e de vegetação, buscando-se a obtenção de variedade de microclimas que resultasse em uma gama de respostas da percepção térmica mais abrangente dos entrevistados. A Figura 1 mostra a localização de ambas as praças e a encosta resultante da falha geológica de Salvador que divide a Cidade Alta e a Cidade Baixa, onde se situam, respectivamente, a Praça da Piedade e a Praça Cairu.

Figura 1 – Localização das Praças Cairu e Piedade situadas em condições topoclimáticas distintas, geradas pela falha geológica de Salvador



Fonte: Foto, cortesia de Manu Dias (2011).

A Praça da Piedade (Figura 2) está localizada no centro da cidade, de topografia plana, altitude de 60m, distando da borda da Baía de Todos-os-Santos cerca de 700m. Com área de 5.976m², tem seu traçado quadrangular subdividido em quatro áreas de jardins gramados e arborizados, tendo ao centro um

monumento em forma de fonte. As árvores de grande porte, entre 12 a 18m de altura, predominando os oitizeiros do início do século XX, tornam a praça sombreada. Inserida em uma zona urbana intensamente construída e pavimentada, seu entorno apresenta edificações de médio porte entre 12 a 21m de altura.

A Praça Visconde de Cairu, ou Praça Cairu (Figura 3), está localizada em uma faixa estreita ao nível do mar, entre o litoral da Baía de Todos-os-Santos e a falha geológica de Salvador, que se comporta como uma barreira aos ventos dominantes. Sua área de 10.858m² tem um formato alongado, subdividida ao meio pela edificação do Mercado Modelo. Na área entre o Mercado Modelo e a falha,

localizam-se barracas de artesanato que funcionam como extensão do mercado. Essa área pavimentada possui algumas árvores de pequeno a médio porte, variando entre 8m a 12m de altura. A área entre o Mercado e o porto, também pavimentada, possui alguma vegetação de porte médio e um estacionamento, sendo aberta para a Baía de Todos-os-Santos.

Figura 2 – Praça da Piedade e seu entorno



Fonte: Foto, cortesia de Manu Dias (2011).

Figura 3 – Praça Cairu e seu entorno



Fonte: Foto, cortesia de Manu Dias (2011).

A metodologia aplicada neste trabalho, para a calibração do índice PET para Salvador, foi desenvolvida conjuntamente pelas equipes integrantes do projeto *Urban climate, Urban Design and Global Climate Changes* (ASSIS; NERY; KATZSCHNER, 2007), considerando as especificidades culturais e climáticas de cada cidade e região. Foram levantadas as variáveis ambientais dos dois sítios escolhidos em Salvador e a opinião dos usuários quanto à percepção térmica, para, então, se calcular o Índice de Conforto Térmico PET (°C). Para a sua calibração, foi escolhido e aplicado um tratamento estatístico que melhor ajustasse os dados. Um maior detalhamento da metodologia utilizada pode ser encontrado em Andrade, Nery e Freire (2003); Andrade *et al.* (2004); Moura *et al.* (2006); Katzschner (2006; 2010); Fé

et al. (2007); Hirashima (2010); Souza (2010) e Souza *et al.* (2011).

As variáveis ambientais medidas foram: Temperatura do Ar – T_a (°C), Umidade Relativa do Ar – UR (%), Velocidade do Vento – V (m/s) e Temperatura de Globo cinza, de diâmetro 0,04m – T_g (°C). As medições foram realizadas a cada 10 minutos, no período de 14h às 17h, simultaneamente ao levantamento da opinião dos usuários através da aplicação de questionários, nos quais foram utilizadas a escala de 7 pontos mencionada.

Posteriormente, obteve-se a Temperatura Radiante Média – T_{rm} (°C), calculada de acordo com a equação para convecção forçada da ISO 7.726 (ISO, 1998) (Equação 3).

$$T_{rm} = \left[(T_g + 273)^4 + \frac{1,10 \times 10^8 \times V^{0,6}}{\varepsilon \times D^{0,4}} \times (T_g - T_a) \right]^{1/4} - 273$$

Equação (3)

Onde:

T_{rm} = Temperatura radiante média (°C); T_g = Temperatura de globo cinza (diâmetro = 0,04m); V = Velocidade do vento (m/s); T_a = Temperatura do ar (°C); ε = Emissividade do globo, adotando-se 0,9 (OKE, 1987); D = Diâmetro do globo (m).

Os equipamentos utilizados compreenderam duas estações meteorológicas do tipo WID600+FS40H para medir a temperatura e umidade relativa do ar, e dois termômetros de globo cinza de 0,04m conectados a um sensor de temperatura da Farnell Newark Brasil Distribuidora de Produtos Eletrônicos Ltda, código 41K4848 e dois anemômetros Minipa MDA11.

As estações e os termômetros de globo foram fixados em tripé, a uma altura de 1,5m acima do solo. Aguardou-se o tempo de 30 minutos para o início dos registros, a fim de garantir a estabilização das funções dos equipamentos. Os anemômetros, de leitura manual, foram posicionados a 2,0m de altura, evitando

influências de obstáculos próximos, como, por exemplo, o próprio operador.

Para o levantamento da opinião dos usuários quanto à percepção térmica foi desenvolvido e aplicado um questionário para uma amostra representativa da população da cidade (SOUZA, 2010), simultaneamente à medição das variáveis ambientais.

Para o cálculo do tamanho mínimo da amostra, foram utilizadas as Equações 4 e 5 (BARBETTA, 1994), obtendo-se o tamanho mínimo de amostragem aleatória simples.

$$n = \frac{N \times n_o}{N + n_o} \quad \text{Equação (4)}$$

$$n_o = \frac{1}{E_o^2} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

n = tamanho da amostra; N = tamanho da população; n_o = uma primeira aproximação do tamanho da amostra; E_o = erro amostral.

O universo pesquisado foi composto por indivíduos residentes em Salvador há

um ano ou mais, com faixa etária entre 20 e 59 anos, padrão escolhido através dos intervalos etários do IBGE para contagem da população. Aplicando-se as Equações 3 e 4 para esse universo, ou seja, 1.355.806 habitantes (IBGE, 2000), e adotando-se um erro amostral de 3%, isto é, $E_o = 0,03$, obteve-se o tamanho da amostra $n = 1.110$.

Foram entrevistados indivíduos que estivessem em ambiente natural há mais de 15 minutos, que não permanecem em ambiente com ar condicionado 8 horas ou mais por dia, que não tivessem ingerido bebida gelada ou alcoólica, comida gordurosa ou apimentada há menos de uma hora, e não estivessem gripados, resfriados ou fossem gestantes.

Os questionários aplicados, baseados na norma ISO 10.551 (ISO, 1995), coletaram as variáveis individuais peso (kg), altura (m), idade, gênero, atividade metabólica (W) e vestimenta (clo), bem como respostas subjetivas relativas à percepção térmica, utilizando a escala de sete níveis recomendada pela norma ISO 7.730 (ISO, 2005): +3 (muito calor); +2 (calor); +1 (pouco calor); 0 (conforto térmico); -1 (pouco frio); -2 (frio) e -3 (muito frio).

O Índice PET ($^{\circ}\text{C}$) foi obtido utilizando-se o modelo PET sistematizado pelo programa *RayMan*®, v. 1.2 (RUTZ; MATZARAKIS; MAYER, 2000). Os valores medidos – Temperatura do ar (T_a , $^{\circ}\text{C}$), Umidade relativa (UR %), Velocidade do vento (V, m/s) – e calculados, Temperatura radiante média (T_{rm} , $^{\circ}\text{C}$), juntamente com as variáveis individuais e parâmetros subjetivos adotados foram inseridos no programa, incluindo a latitude, longitude e altitude (m) de Salvador. O Índice PET ($^{\circ}\text{C}$) foi calculado para cada indivíduo considerando as variáveis ambientais no momento da coleta de opinião.

A preparação do banco de dados para o tratamento estatístico englobou etapas de tabulação, codificação de variáveis, transformações (quando necessário) de variáveis numéricas em categóricas ou vice-versa e detecção de pontos discrepantes.

O *Box-Plot* foi a técnica exploratória inicial que permitiu a visualização da

dispersão dos dados do Índice PET ($^{\circ}\text{C}$) para as diferentes categorias de percepção térmica. Para a calibração do Índice PET ($^{\circ}\text{C}$), foi utilizado o modelo de mineração de dados Árvore de Decisão. A AD segregou, sucessivamente, o banco de dados baseando-se em grupos homogêneos segundo a variável dependente (percepção térmica), detectando faixas de valores do PET ($^{\circ}\text{C}$) para cada categoria da percepção térmica.

Para aplicação do método AD, foi utilizado o algoritmo *Classification and Regression Tree* (CART) do programa estatístico SPSS 17.0, sendo estabelecido como critério para partição dos dados o tamanho mínimo de nós terminais equivalente a 50 indivíduos, com desvio global de 0,002. Foram adotadas as seguintes variáveis:

(1) Variável dependente: Percepção térmica, variável categórica com sete categorias:

1=Muito Calor; 2=Calor; 3=Pouco Calor; 4=Conforto; 5=Pouco Frio; 6=Frio; 7=Muito Frio.

(2) Variável independente: Índice PET ($^{\circ}\text{C}$), variável numérica contínua.

Vale ressaltar que no presente trabalho são utilizadas apenas essas duas variáveis, considerando o objetivo de calibrar o Índice PET pela avaliação subjetiva de conforto térmico. Tem-se em conta, ainda, que o Índice PET ($^{\circ}\text{C}$) é uma variável secundária, proveniente de medições diretas, tais como Temperatura do ar (T_a , $^{\circ}\text{C}$), Umidade relativa (UR, %) e Velocidade do vento (V, m/s), e do levantamento das variáveis individuais.

6. RESULTADOS

A pesquisa de campo foi realizada em quatro campanhas, em dois dias consecutivos, sendo o primeiro dia na Praça da Piedade e o segundo na Praça Cairu, a saber: 24 e 25/08/2009; 29 e 30/10/2009; 28 e 29/01/2010; 13 e 14/05/2010, correspondendo, respectivamente, ao período de inverno, primavera, verão e outono.

A Figura 4 mostra a equivalência na distribuição de questionários aplicados por praça e por campanha, sendo que na última campanha, Campanha 04, embora tenha havido um maior número de entrevistados, também ocorreu maior número de questionários inválidos, principalmente na Praça da Piedade.

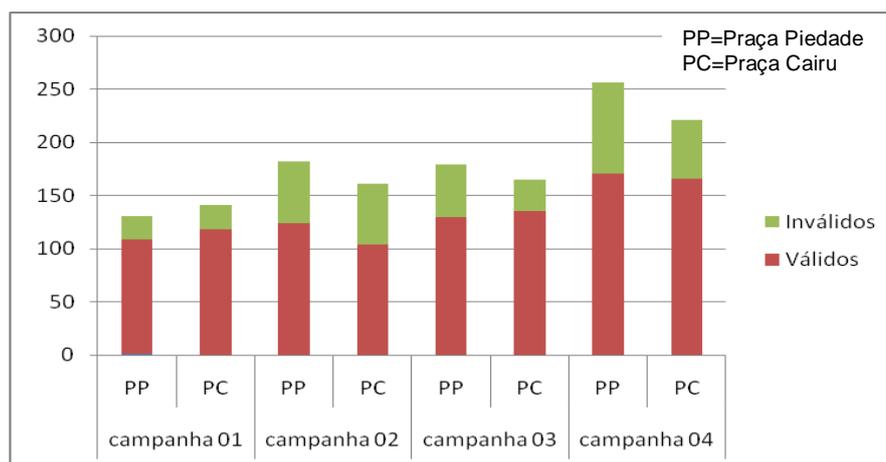
As entrevistas (questionários) foram realizadas simultaneamente às medições das variáveis ambientais para cada praça e campanha, totalizando 1.435 questionários, sendo 379 preliminarmente eliminados e 1.056 entrevistas consideradas válidas de acordo com os critérios especificados na metodologia acima. Das 1.056 entrevistas válidas, foram excluídas 54 observações atípicas e/ou com dados ausentes,

resultando em um total de 1.002 questionários analisados.

O levantamento de campo das quatro campanhas em ambas as praças gerou um banco de dados composto de 22 variáveis, sendo 6 variáveis categóricas (qualitativas) e 16 variáveis numéricas (quantitativas). Das variáveis numéricas da análise, 7 são contínuas e 9 discretas.

Em relação ao perfil dos entrevistados, houve predominância de: gênero masculino, com 56% do total; altura média de 1,70m; peso de 69kg; idade de 36 anos; vestimenta 0,4 clo; e desenvolvendo atividade metabólica de 144W. Quanto à localização à sombra ou ao sol, no momento da entrevista, 76% dos entrevistados estavam à sombra.

Figura 4 – Distribuição de questionários aplicados por praça e por campanha



Fonte: Autores.

Considerando a escala de sete níveis da ISO 10.551 (ISO,1995), a Figura 5 mostra que 34% do total dos entrevistados relataram estar em conforto térmico. O percentual em estresse térmico positivo, somatória das categorias Pouco Calor, Calor e Muito Calor, representou 65% dos entrevistados. A condição de estresse térmico negativo, somatória de Pouco Frio e Frio, não apresentou proporção significativa na amostra.

Para a calibração do Índice PET (°C), para a população da Cidade do Salvador-BA, foi utilizada a Árvore de Decisão (AD) com o *Box-Plot* funcionando como técnica de análise de dispersão dos dados, em que a percepção térmica relatada por cada

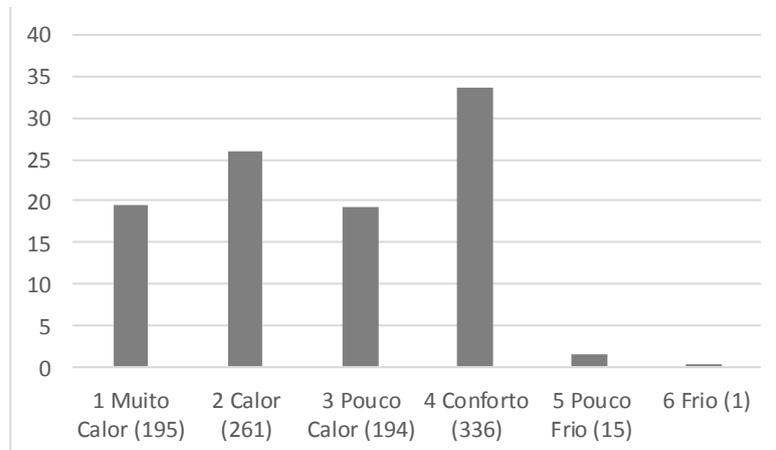
entrevistado correspondeu a um valor do Índice PET (°C). A variável categórica Percepção Térmica foi considerada como variável dependente ou responsável para efetivar a calibração desse índice. As análises do *Box-Plot* forneceram uma visualização prévia do Índice PET (°C).

Considerando a variável percepção térmica em sete categorias – 1=Muito calor; 2=Calor; 3=Pouco calor; 4=Conforto; 5=Pouco frio; 6=Frio; 7=Muito frio –, foi feita uma análise através da técnica *Box-Plot* para determinação dos intervalos de Índice PET (°C) associados a cada categoria de Percepção Térmica (Figura 6). Observa-se que os intervalos de Índice PET diminuem de valor da categoria 1

(Muito Calor) para a categoria 5 (Pouco Frio). A categoria 6 (Frio) apresenta apenas

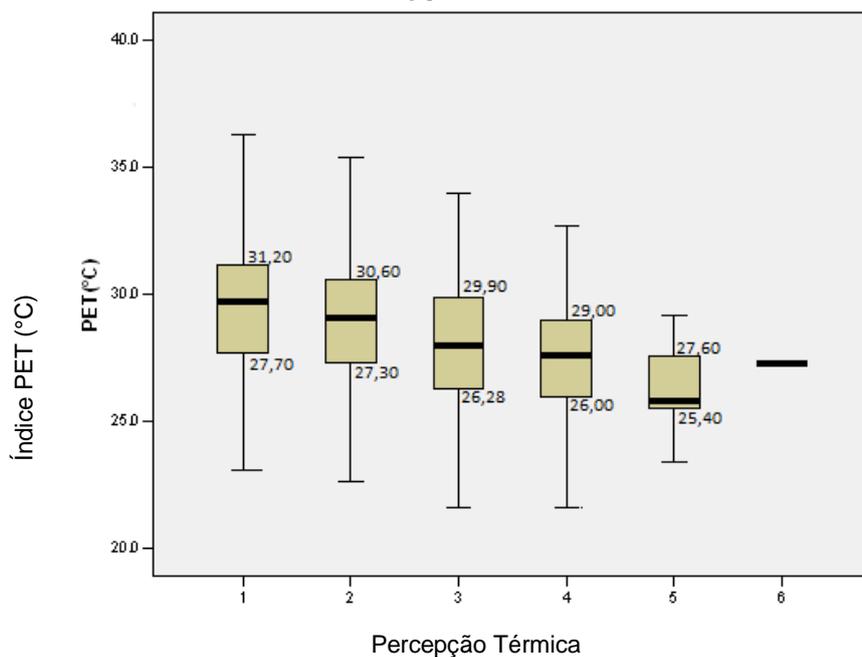
uma observação e a 7 (Muito Frio) nenhuma.

Figura 5 – Percentual da percepção térmica relatada em função da escala da ISO 7730



Fonte: Autores.

Figura 6 – Dispersão dos valores do Índice PET (°C) para as categorias de Percepção Térmica



Fonte: Autores.

A Tabela 2 traz as principais medidas descritivas do Índice PET (°C) associadas às categorias de Percepção Térmica. A variação do Índice PET (°C) por categoria de Percepção Térmica se encontra entre os valores do 1º quartil e 3º quartil, respectivamente. Tal variação abrange pelo menos 50% dos dados por categoria

de Percepção Térmica. Dessa forma, levando em conta apenas a análise exploratória do *Box-Plot*, ilustrado na Figura 6, uma possível calibração inicial deste índice (considerando, respectivamente, os valores do 1º e 3º quartis para cada categoria) apresentaria-se conforme indicado na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Medidas descritivas do Índice PET (°C) relativas à percepção térmica

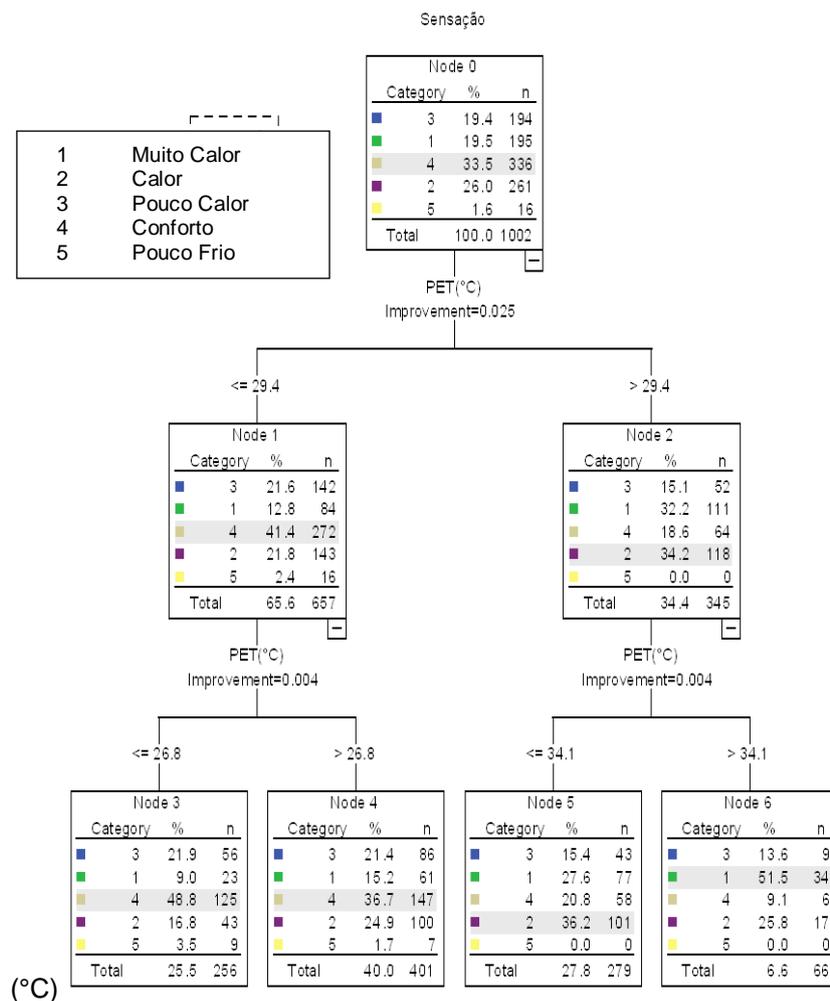
Categorias	Descrição	Nº	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	1º Quartil	3º Quartil
1	Muito Calor	195	30,22	29,70	39,30	22,30	27,70	31,20
2	Calor	261	29,19	29,10	39,30	22,60	27,30	30,60
3	Pouco Calor	194	28,11	28,00	39,20	21,60	26,28	29,90
4	Conforto	336	27,57	27,60	38,80	21,20	26,00	29,00
5	Pouco Frio	15	26,24	25,80	29,20	23,40	25,40	27,60
6	Frio	1						

Fonte: Autores.

A Árvore de Decisão (AD) foi elaborada com a variável dependente ou resposta, Percepção Térmica, e variável independente PET (°C). A AD identificou a predominância de categorias da variável dependente Percepção Térmica segundo valores do Índice PET (°C). A AD da calibração do Índice PET apresentou sete nós no total, sendo quatro nós terminais ou folhas. Cada nó representa o grupo de

indivíduos formado a partir das características semelhantes classificadas pela mineração de dados. A profundidade representa camadas da classificação selecionadas por prioridade de predominância entre as ramificações da estrutura que, no caso, foi igual a três. A AD encontra-se representada na Figura 7 abaixo.

Figura 7 – Árvore de Decisão (AD) e classificação para a calibração do Índice PET



Fonte: Autores, utilizando o algoritmo CART (SPSS 17.0).

Observa-se que, para a primeira partição dos dados, foi obtido um valor do Índice PET equivalente a 29,4°C. Assim, os dados foram segregados em dois grupos principais: (1) PET \leq 29,4°C; e (2) PET > 29,4°C. O grupo 1 – Nó 1 (menores valores de PET) é, predominantemente, formado por indivíduos que responderam estar em Conforto Térmico (categoria 4 – 41,4%). O grupo 2 – Nó 2 (maiores valores de PET) é formado mais frequentemente por indivíduos que responderam estar com Calor (categoria 2 – 34,2%). A partir dos dois primeiros grupos formados, foram realizadas sucessivas divisões binárias, considerando outros valores do Índice PET.

Para calibração do Índice PET, foram levados em conta os intervalos de valores obtidos através do algoritmo CART: (a) \leq 26,8°C; (b) 26,8 até 29,4°C; (c) 29,4 até 34,1°C; (d) \geq 34,1°C. Para cada um dos intervalos, ou nós terminais, foram observadas as frequências de ocorrência de cada uma das cinco categorias de Percepção Térmica. A categoria 6, Frio, foi excluída da análise porque ocorreu apenas uma única observação.

Essa análise de resultados permitiu a calibração do Índice PET (°C), conforme apresentado na Tabela 3. Para a percepção térmica de Muito Calor (categoria 1), corresponderam valores do Índice PET maiores que 34,1°C, equivalente a 52% das respostas relativas a esta categoria. Para a classificação de Calor (categoria 2), corresponderam valores do Índice PET acima de 29,4°C, equivalente a 62% das respostas relativas a esta categoria. Para a percepção térmica de Pouco Calor (categoria 3), verificou-se que os limites de valores do Índice PET não ficaram claramente definidos. Para a percepção de Conforto Térmico, para o Índice PET, foram obtidos valores de até 29,4°C, equivalente a 86% das respostas relativas a esta categoria, não tendo ficado claramente definido o valor mínimo que representaria o limite inferior da percepção de Conforto Térmico. Para a percepção de Pouco Frio (categoria 5), não foi estabelecido um intervalo de valores do Índice PET devido ao pequeno número de respostas.

7. ANÁLISE E DISCUSSÃO

Inicialmente, o algoritmo CART foi rodado adotando-se como variância máxima o valor de 50% que, porém, não se mostrou satisfatório para discriminar os intervalos do Índice PET para cada categoria. Em seguida, utilizou-se a variância máxima de 30%, obtendo-se uma melhor discriminação dos dados. A Tabela 4 apresenta os resultados para ambas as variâncias e, também, para o Box-Plot. Verifica-se, para a AD 50%, que a categoria Pouco Calor não foi obtida, e a categoria Calor ficou indefinida. Na AD 30%, a categoria Pouco Calor ficou definida, bem como a categoria Calor. A categoria Conforto teve seu limite superior ajustado.

Através do método Árvore de Decisão (AD), foram obtidos os intervalos para as categorias Calor (categoria 2), de 29,4 a 34,1°C, e Pouco Calor (categoria 3), de 26,8 a 29,4°C. Além disso, confirmou-se o limite inferior de 34,1°C para Muito Calor (categoria 1). Quanto à categoria Conforto (categoria 4), a AD estabeleceu como limite superior 26,8°C. O limite inferior de Conforto não foi estabelecido.

O limite inferior de Conforto Térmico não pôde ser estabelecido devido ao clima local de Salvador não apresentar condições de estresse térmico negativo, pois, segundo Goulart, Lamberts e Firmino (1998), analisando um Ano Climático de Referência para Salvador através da Carta Bioclimática de Givoni, apenas 3,6% das horas do ano apresentam desconforto por frio, possivelmente ocorrendo nas horas iniciais da madrugada.

A Tabela 5 compara os resultados das calibrações do Índice PET para a Alemanha, cidades de Kassel e Freiburg (KATZSCHNER, 2011), Hong Kong (KATZSCHNER, 2011), Belo Horizonte (HIRASHIMA, 2010) e Salvador (FÉ *et al.*, 2007), com a calibração realizada no presente trabalho.

Observando-se a Tabela 5, verifica-se que os trabalhos realizados para o clima temperado e o subtropical (KATZSCHNER, 2011) estabeleceram intervalos do Índice PET para faixas de percepção térmica desde Muito Calor até Frio, com intervalos

próximos, mas não coincidentes. No caso das cidades tropicais (Belo Horizonte e Salvador), não foi possível estabelecer os

limites inferiores de conforto, assim como os intervalos correspondentes ao estresse negativo.

Tabela 3 - Resumo dos resultados da AD para calibração do Índice PET (°C)

Categoria		Faixas de PET (°C)	Nó (AD)	%
1	Muito Calor	≤ 26,8	3	9
		26,8 - 29,4	4	15
		29,4 - 34,1	5	15
		≥ 34,1	6	52
2	Calor	≤ 26,8	3	17
		26,8 - 29,4	4	25
		29,4 - 34,1	5	36
		≥ 34,1	6	26
3	Pouco Calor	≤ 26,8	3	22
		26,8 - 29,4	4	21
		29,4 - 34,1	5	15
		≥ 34,1	6	14
4	Conforto	≤ 26,8	3	49
		26,8 - 29,4	4	37
		29,4 - 34,1	5	21
		≥ 34,1	6	9
5	Pouco Frio	≤ 26,8	3	4
		26,8 - 29,4	4	2
		29,4 - 34,1	5	0
		≥ 34,1	6	0

Fonte: Autores.

Tabela 4 - Resumo dos resultados do Índice PET (°C) para AD (30% e 50%) e Box-Plot

Categoria		Box Plot	AD (50%)	AD (30%)
1	Muito Calor	27,70 - 31,20	≥ 34,1	≥ 34,1
2	Calor	27,30 - 30,60	≥ 29,4	29,4 - 34,1
3	Pouco Calor	26,28 - 29,90		26,8 - 29,4
4	Conforto	26,00 - 29,00	< 29,4	≤ 26,8
5	Pouco Frio	25,40 - 27,60		
6	Frio			
7	Muito Frio			

Fonte: Autores.

Comparando o presente trabalho com o realizado em Belo Horizonte (HIRASHIMA, 2010), cuja pesquisa de campo foi efetuada no mesmo período de 2009 e 2010, se observa que, para o nível de percepção térmica Muito Calor e Calor,

os resultados foram similares, entretanto Hirashima (2010) não estabeleceu a faixa Pouco Calor, resultado similar a este trabalho quando utilizada a AD com variância máxima de 50%.

Quanto aos limites da categoria Conforto Térmico, ou seja, da condição onde não há estresse térmico, para o caso da Alemanha e Hong Kong, verifica-se uma amplitude de 10°C e 18°C, respectivamente, sendo que Matzarakis e Mayer (1999), ao pesquisarem em cidades da Alemanha, estabeleceram uma amplitude de 5°C entre os limites de 18 a 23°C, para essa mesma categoria ou faixa.

Nas duas cidades brasileiras pesquisadas, só foi possível estabelecer os limites superiores da faixa de Conforto,

sendo $\leq 30^{\circ}\text{C}$ para Belo Horizonte e $\leq 26,8^{\circ}\text{C}$ para Salvador.

Fé *et al.* (2007), buscando determinar os limites da faixa de Conforto, também só conseguiram estabelecer o limite superior desta faixa em $\leq 26,6^{\circ}\text{C}$, o que corrobora com os resultados obtidos no presente trabalho.

Dessa forma, propõe-se o Índice PET $\leq 26,8^{\circ}\text{C}$ como o limite superior da faixa ou categoria de Conforto Térmico para a Cidade do Salvador.

Tabela 5 – Resultados da calibração do Índice de Conforto Térmico PET ($^{\circ}\text{C}$) para diferentes cidades

Alemanha (KATZSCHNER, 2011)	Hong Kong (KATZSCHNER, 2011)	Salvador (FÉ et al, 2007)	Belo Horizonte (HIRASHI MA, 2010)	Salvador (neste trabalho)	PMV	Percepção Térmica	Estresse Fisiológico
> 42	> 45		> 35,0	$\geq 34,1$	+3	Muito calor	Extremo estresse positivo
35 – 41	35 - 45		30,5 – 35,0	29,4 - 34,1	+2	Calor	Forte estresse positivo
29 – 34	30 - 35			26,8 - 29,4	+1	Pouco calor	Moderado estresse positivo
18 – 28	12 - 30	$\leq 26,6$	$\leq 30,5$	$\leq 26,8$	0	Conforto	Não há estresse térmico
13 – 17	9 - 12				-1	Pouco Frio	Moderado estresse negativo
< 13	< 8				-2	Frio	Forte estresse negativo
					-3	Muito Frio	Extremo estresse negativo

Fonte: Autores.

8. CONCLUSÃO

O clima urbano, resultante do impacto da urbanização, em geral, implica condições de conforto térmico e qualidade do ar deterioradas, condições estas que vêm sendo agravadas pelas recentes mudanças climáticas globais. Índices de conforto térmico devem servir como uma ferramenta para avaliação do conforto térmico e precisam ser testados ou

calibrados para populações aclimatadas a regiões com diferentes características climáticas.

Com relação às mudanças climáticas em curso, o maior destaque tem sido dado à elevação das temperaturas do ar no planeta. Caso essa mesma alteração fosse analisada com o Índice PET calibrado, que considera além da temperatura do ar, as variáveis umidade e velocidade do ar, radiação global, e aquelas individuais, seria

possível estimar de maneira mais consistente as prováveis e mais estressantes implicações dessas mudanças climáticas sobre o conforto térmico e a saúde das populações em áreas urbanas. Esta constatação torna esses índices calibrados em ferramentas úteis para a gestão pública urbana.

Através do modelo Árvore de Decisão – AD estabeleceu-se uma primeira partição, a qual não foi suficiente para discriminar as sete categorias de percepção térmica, ou seja, as categorias 2 e 3, Calor e Pouco Calor, não foram definidas. Com a adoção do critério de 30% de variância máxima de AD, obteve-se o limite inferior para o Índice PET ($^{\circ}\text{C}$) $\geq 34,1^{\circ}\text{C}$ para Muito Calor (categoria 1), e foi possível definir os intervalos do Índice PET ($^{\circ}\text{C}$) de 29,4 a 34,1 $^{\circ}\text{C}$ e de 26,8 a 29,4 $^{\circ}\text{C}$, respectivamente, para Calor (categoria 2) e Pouco Calor (categoria 3). Quanto à categoria Conforto Térmico (categoria 4), a AD de 30% estabeleceu como limite superior para o Índice PET ($^{\circ}\text{C}$) $\leq 26,8^{\circ}\text{C}$, sendo que o limite inferior não foi estabelecido.

Dessa forma, sugere-se o Índice PET $\leq 26,8^{\circ}\text{C}$ como limite superior da faixa ou categoria de Conforto Térmico para a Cidade do Salvador. Entretanto, como estes estudos foram realizados em períodos diurnos, faz-se necessário aprofundar as pesquisas para a calibração do Índice PET também nos primeiros horários que antecedem o amanhecer, buscando definir o limite inferior da faixa ou categoria de Conforto Térmico para Salvador e outras cidades tropicais. Este trabalho indica ainda que estudos sobre mitigação e adaptação das cidades e suas populações às mudanças climáticas podem avançar a partir da utilização de um Índice de Conforto Térmico calibrado pela percepção dos habitantes aclimatados, como o PET, por exemplo, complementando as avaliações que utilizam apenas a variável temperatura do ar.

AGRADECIMENTOS:

Laboratório de Conforto Ambiental – LACAM/FAUFBA pelo recrutamento e treinamento dos voluntários de campo;
Laboratório de Conforto Ambiental – LABCON/EA/UFMG pelo empréstimo dos Hobos;
Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana – MEAU/EPUFBA pelo suporte ao trabalho.
CNPq pelo financiamento dos encontros científicos dos pesquisadores;
Fotógrafo Manu Dias pela cessão das imagens.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, T.; KATZSCHNER, L. FREIRE, T.; NERY, J. A method to derive thermal comfort conditions for a tropical city. In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE – PLEA, 21., 2004, Eindhoven. **Proceedings...**, Eindhoven: PLEA, 2004, v. 1. p. 19-22, 2004.

_____: NERY, J.; FREIRE, T. Thermal comfort and urban climate in the tropical city of Salvador-Ba. **Revista Baiana de Tecnologia – TECBAHIA**, Camaçari, v. 17, n. 3, p. 34-45, set./dez. 2003.

ASSIS, E.; NERY, J.; KATZSCHNER, L. Projeto Urban Climate and Urban Design for Global Climate Changes, Brasil–Alemanha. Belo Horizonte: UFMG; Salvador: UFBA; Kassel (Alemanha): UniKassel, 2007. Projeto financiado pelo CNPq.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-1**: Desempenho térmico de edificações: parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, maio 2005.

BARBETTA, P.A. **Estatísticas aplicadas às ciências sociais**. Florianópolis: UFSC, 1994.

BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J.H; OLSHEN, R.A.; STONE, C.J. **Classification and regression trees**. California: Wadsworth International Group, 1984.

CHINESE UNIVERSITY OF HONG-KONG - CUHK. Urban Climatic Map and Standards for Wind Environment: feasibility study. **Technical Input Report No.1**: Methodologies and Findings

of User's Wind Comfort Level Survey. Hong-Kong, nov. 2008.

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

FÉ, D.S.; ANDRADE, T.C.Q.; SANTANA, M.J.A.; NERY, J.; FREIRE, T.M.M.; OLIVEIRA, I.B. Índices de conforto térmico: avaliação para clima quente e úmido. **Anais da Biblioteca Nacional**, v. 1, p. 697-706, 2007.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. 2. ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998. 345 p.

GUYTON, A.C. **Tratado de fisiologia médica**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992.

HIRASHIMA, S. **Calibração do Índice de Conforto Térmico Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) para espaços abertos do município de Belo Horizonte**. 2010. 225 p. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – UFMG, Belo Horizonte, 2010.

HÖPPE, P. Heat balance modelling. **Experientia**, v. 49, p. 741-746, 1993.

_____. The physiological equivalent temperature: a Universal Index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, n. 43, p. 71-75, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Brasil – Censo 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.org.br/>>. Acesso em: 8 nov. 2009.

_____. **Brasil – Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.org.br/>>. Acesso em: 23 maio 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Ergonomics of the thermal environment: assessment of the influence of the thermal environment using Subjective judgment scales: **ISO 10.551**. Genebra, 1995.

_____. Ergonomics of the thermal environment: instruments for measuring physical quantities: **ISO/DIS 7.726**. Genebra, 1998.

_____. 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: **ISO 7.730**. 3. ed. Genebra, 2005.

KATZSCHNER, L. Avaliação de conforto térmico para o planejamento urbano sob a consideração da mudança climática global. **Fórum Patrimônio Clima Urbano e Planejamento das Cidades**, v. 3, n. 2, 2010. Disponível em: <<http://www.forumpatrimonio.com.br>>. Acesso em: 10 maio 2011.

_____. Microclimatic thermal comfort analysis in cities for urban planning and open space design. In: COMFORT AND ENERGY USE IN BUILDINGS: GETTING THEM RIGHT, 27-30th April 2006, Cumberland Lodge, Windsor, UK. **Proceedings...** London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings, 2006. Disponível em: < www.nceub.or.uk.london >. Acesso em: 10 maio 2011.

_____. Urban climate, thermal comfort, urban planning. Salvador: Goethe-Institut Salvador, 15 fev 2011. Cópia eletrônica fornecida pelo autor (Palestra ministrada durante a 5ª Visita Técnica do Projeto Urban Climate and Urban Design for Global Climate Changes, em cumprimento ao EDITAL CNPq nº 004/2007).

MATZARAKIS, A.; MAYER, H. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 76-84, 1999.

_____; AMELUNG, B. Physiologically equivalent temperature as indicator for impacts of climate change on thermal comfort of humans. In: THOMSON, M.C.; GARCÍA-HERRERA, R.; BENISTON, M. (Ed.). **Seasonal forecasts, climatic change and human health**. 2008. Netherlands: Springer Science; Business Media B.V., 2008. Chap. 9, p. 161-172.

MOURA, T.; NERY, J.; ANDRADE, T.; KATZSCHNER, L. Mapeando as condições de conforto térmico em Salvador. **RUA – Revista**

de **Arquitetura e Urbanismo**, Salvador, v.1, n. 9, p. 44-49, jan./jun. 2006.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2. ed. Cambridge: Routledge, 1987.

RUTZ, F.; MATZARAKIS, A.; MAYER, H. **Rayman**, v.1/2, 2000. Disponível em: <<http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman/>>. Acesso em: 22 set. 2009.

SAFAVIAN, S.R.; LANDGREBE, D. A survey of decision tree classifier methodology. **Man and Cybernetics**, v. 21, p. 660-674, 1991.

SOUZA, S. **Avaliação do desempenho térmico nos microclimas das praças**: Piedade e Visconde de Cayrú, Salvador/BA. 2010. 203 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – UFBA, Salvador, 2010.

_____; ANDRADE, T.; PITOMBO, C., NERY, J.; FREIRE, M. Avaliação do desempenho térmico nos microclimas das Praças: Piedade e Visconde Cayrú, Salvador/ BA. In: XI ENCAC VII ENLACAC. **Anais...**, Búzios: ANTAC. 2011. <https://encacrio2011.files.wordpress.com/2011/08/topico2artigo44.pdf>

STEANE, M.A.; STEEMERS, K. (Ed.) **Environmental diversity in Architecture**. London and New York: Spon Press, 2004.

WESTPHAL, C.; BLAXTON, T. **Data mining solutions**: methods and tools for solving real-world problems. New York: John Wiley & Sons, 1998.