

CONFORTO TÉRMICO EM ESTAÇÃO QUENTE E SECA EM ESPAÇOS ABERTOS, PALMAS - TO

Liliane Flávia Guimarães da Silva (1); Jessica Viana Ferreira (2); Marília Reis Nunes da Silva (3)

(1) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente da Universidade Federal do Tocantins, Professora do Curso de Engenharia Civil do IFTO, lilianeg@ifto.edu.br

(2) Graduanda do Bacharelado em Engenharia Civil do IFTO, jessicavianaf@hotmail.com

(3) Graduanda do Bacharelado em Engenharia Civil do IFTO, mariliarnsilva@hotmail.com

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Coordenação da Área de Construção Civil, AE 310 Sul, Av. LO-05, s/n, Palmas-TO, 77021-090, Tel.: (63) 3236 4000

RESUMO

Essa pesquisa é fruto de dois projetos de iniciação científica do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins e tem como objetivo avaliar a aplicação de dois índices de conforto térmico, PMV e UTCI, em espaços urbanos externos na cidade de Palmas-TO. A escolha do tema deve-se à carência de pesquisas com conforto térmico em áreas externas na cidade, bem como devido à impossibilidade de controle artificial desses espaços. Para tanto, foram selecionadas a Praça dos Girassóis e a Avenida JK. A estação seca é o período foco da pesquisa, tendo em vista que é a estação de maiores temperaturas máximas do ano, entre os meses de agosto e setembro. A pesquisa buscou determinar a eficiência de dois índices de conforto térmico com as respostas das pessoas, utilizando proposta comparativa de recentes estudos brasileiros. Percebeu-se que o índice UTCI tem maior aproximação da sensação térmica real dos entrevistados, apesar de, da mesma forma que o PMV, superestimar a percepção de conforto. Além disso, foi verificado que a escala utilizada de sensação térmica de sete pontos é pequena para demonstrar a realidade climática da cidade em estudo. O presente estudo abre mais uma possibilidade na caracterização do conforto térmico, contribuindo para futuras pesquisas sobre o tema em climas semelhantes.

Palavras-chave: Conforto térmico em espaços abertos, Índices de conforto térmico, Palmas-TO.

ABSTRACT

This research is the result of two scientific initiation projects of Civil Engineering Course at the Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins and aims to evaluate the application of two thermal comfort indices, PMV and UTCI, in outdoor urban spaces in Palmas-TO. The choice of topic is due to the shortage of research on thermal comfort in outdoor areas in this city, as its due to the impossibility of artificial control of these spaces. Thus, Girassóis Square and JK Avenue were selected. The dry season is the focus period of this research, considering that is the season with higher maximum temperatures, between the months August and September. The research sought to determine the application efficiency of two thermal comfort index with people's responses, using comparative proposal of recent Brazilian studies. It was found that the UTCI is nearer the real thermal sensation of respondents, though, just as the PMV, overestimate the perception of comfort. In addition, it was verified that the used scale of thermal sensation of seven points is small to demonstrate the climatic reality of the city studied. This study gives one more possibility for the characterization of thermal comfort, contributing to future research on the subject in similar climates.

Keywords: Thermal comfort in open spaces, thermal comfort indices, Palmas-TO.

1. INTRODUÇÃO

Os elementos climáticos atuam no indivíduo sobre fatores de ordem tanto fisiológica como comportamental, influenciando sua percepção térmica e sua sensação de conforto. Segundo Ayoade (1996), a saúde humana, a energia e o conforto são afetados mais pelo clima do que por qualquer outro elemento do meio ambiente, podendo estimular as atividades humanas de forma positiva ou negativa. Segundo Koenigsberger *et al.* (1977), condições climáticas desfavoráveis podem dificultar o ciclo vital diário do ser humano, podendo produzir perda da eficiência e consequências indesejáveis na saúde. “As consequências da pressão térmica podem trazer incômodo pelo calor, pelo suor, dor de cabeça, esgotamento, diminuição da atividade alimentícia por causa do suprimento insuficiente do sangue e até possíveis deficiências de sal, devido às perdas através do suor” (MASCARÓ, 1991, p. 16). Lamentavelmente, o desenvolvimento de um estilo de vida baseado no consumismo e não no conforto, mas na comodidade proporcionada pela tecnologia, tem feito com que a sociedade tenha visto o clima unicamente como fator negativo, com tendência a negligenciá-lo como recurso, ao contrário de utilizá-lo como elemento integrador e de equilíbrio com o meio.

Tendo em vista a importância do clima, o tema da presente pesquisa volta-se ao conforto térmico em espaços abertos por dois motivos: primeiro, porque nestes espaços evidenciam-se as características naturais do clima local, sendo dificultado o controle artificial; e também porque o conforto térmico é um dos canais da percepção humana referencial no sistema geográfico (MONTEIRO; MENDONÇA, 2011).

Os estudos mais conhecidos de conforto térmico estabelecem *índices de conforto*, que tentam englobar os efeitos de diversos fatores, tomando parâmetros considerados universais em faixas válidas para a maior parte dos seres humanos. Os gráficos destes índices apresentam zonas de conforto, que são os limites de conforto fixados considerando-se os elementos climáticos entre outras variáveis ambientais. Dentre os 162 índices existentes (FREITAS; GRIGORIEVA, 2015), foram selecionados nesta pesquisa o *Predicted Mean Vote* – PMV e o *Universal Thermal Climate Index* – UTCI. Segundo Rossi (2012), o PMV é um dos índices mais utilizados para analisar a sensação térmica (54% das pesquisas analisadas pela autora), enquanto o UTCI é o mais recente modelo desenvolvido além de ser aplicável a todos os tipos de clima.

A pesquisa é fruto de dois projetos de Iniciação Científica do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. A escolha do tema conforto térmico na cidade de Palmas–TO deve-se às características da cidade, última capital projetada do século XX (SILVA, 2010), e por isso guardar características do urbanismo funcionalista (VELASQUES, 2010), como também pela carência de pesquisas com conforto térmico em áreas externas na cidade. Para tanto, foram selecionados os espaços da Praça dos Girassóis e da Avenida Juscelino Kubitschek – JK. A praça é cartão postal de Palmas, espaço cívico destinado a ser o centro do desenho urbano da cidade e a avenida é um dos ambientes de grande movimentação pelo comércio com características bem marcantes de praticamente todas as áreas comerciais da cidade: planejamento de sombras nas entradas das lojas comerciais proporcionadas por balanços, vias divididas por refúgio central e vegetação esparsa. A estação seca é o período foco da pesquisa, tendo em vista que é a estação de maiores temperaturas máximas do ano, nos meses de agosto e setembro, com 34,5°C e 35,2°C respectivamente, segundo Normal Climatológica do INMET (2014).

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar a aplicação de dois índices de conforto térmico, PMV e UTCI, em espaços urbanos externos na cidade de Palmas–TO.

3. MÉTODO

Nesta pesquisa, a metodologia está dividida em cinco etapas principais:

1. Pesquisa bibliográfica;
2. Levantamento de campo dos dados físicos (temperatura, radiação, umidade e velocidade do ar) através de instrumentos;
3. Levantamento de campo (simultaneamente aos dados físicos) dos dados fisiológicos, a partir de observações e catalogação de tipo de vestimenta, peso, altura, etc., sensação, avaliação e preferência térmica, através de formulários;
4. Análise dos dados com: caracterização das respostas dos entrevistados; avaliação dos espaços através dos índices de conforto selecionados; estudo da relação de cada índice de conforto às respostas dos entrevistados, utilizando proposta comparativa de Rossi (2012).
5. Síntese dos resultados.

Para aplicação dos índices, no levantamento de campo dos dados físicos foram coletados dados in loco com uma estação meteorológica portátil e um termômetro de globo (15 cm de diâmetro, com emissividade 0,95). A estação registrou temperatura, umidade relativa, precipitação, direção e velocidade do vento. O termômetro de globo registrou a temperatura de globo, a temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido. Para análise dos índices foi utilizada metodologia apropriada aos índices escolhidos: PMV e UTCI. O PMV, criado por Fanger (1970), é um índice que resulta em um voto médio predito das pessoas em uma escala composta de 7 pontos, variando de -3 (*muito frio*) a +3 (*muito quente*). O UTCI, inicialmente desenvolvido pela *International Society of Biometeorology* - ISB (BRÖDE, *et al.*, 2012), resulta em uma temperatura equivalente a um ambiente de referência, podendo também ser classificado em categorias de estresse térmico por faixas da temperatura resultante, variando de *estresse por frio extremo* a *estresse por calor extremo*.

Para o cálculo do PMV e do UTCI há diversos softwares e sites desenvolvidos por diversos pesquisadores no mundo. Optou-se pelo cálculo *on line* dos dois índices, sendo para o UTCI através do site <http://www.utci.org>, da ISB, e para o PMV, pelo site <http://smap.cbe.berkeley.edu/comforttool>, da Universidade de Berkeley, EUA.

Foram levantados dados de 10 dias (não consecutivos) durante a estação seca em Palmas, de agosto a setembro de 2014, sendo cinco dias em cada espaço selecionado. Na avenida JK foram coletados dados nos dias 15/08/2014, 22/08/2014, 29/08/2014, 05/09/2014, 17/09/2014 e na Praça dos Girassóis nos dias 18/08/2014, 25/08/2014, 01/09/2014, 12/09/2014, 19/09/2014. A Figura 1 abaixo apresenta a localização dos espaços selecionados para monitoramento:



Figura 1 – Localização da Praça dos Girassóis e da Avenida JK.
Fonte: Google Maps.

Os equipamentos foram instalados nas alturas recomendadas pela Norma ISO 7726 (1998) no espaço das calçadas, expostos às mesmas condições climáticas dos transeuntes. Foram coletados dados entre as 8h e 12h no período matutino e entre as 14h e 18h no período vespertino. Como o termômetro de globo não possuía registrador de dados, os dados físicos foram anotados em caderneta própria a cada hora.

A avaliação dos usuários foi realizada através de formulários estruturados que foram aplicados no mesmo momento da coleta de dados físicos, com o intuito de levantar as respostas de sensação, avaliação e preferência térmica. A determinação da amostra seguiu recomendações de Fonseca e Martins (2010), para variáveis qualitativas, desconhecendo-se a população (não há pesquisas que indicam o número de usuários que frequenta a Avenida JK e a Praça dos Girassóis), com nível de confiança de 95,5% e erro amostral admitido de 5%. Como desconhece-se a estimativa de pessoas confortáveis, admitiu-se estimativa da variável de 50%, obtendo assim o maior tamanho da amostra de 400 pessoas. Optou-se aplicar 400 formulários em cada local selecionado, totalizando 800 formulários. A aplicação destes formulários considerou a distribuição homogênea nos horários e dias da coleta, sendo aplicados 10 formulários por hora.

Para a análise dos dados foi utilizada proposta de Rossi (2012) que relaciona avaliação e preferência térmica. Segundo a autora, “é possível que uma pessoa que esteja sentindo algum grau de calor ou de frio declare estar confortável e aceite o ambiente térmico em questão. Da mesma forma, é possível que uma pessoa que declare estar em conforto, preferir estar em um ambiente termicamente diferente” (ROSSI, 2012, p. 101). A autora propõe uma classificação por faixas de estresse térmico com base nas respostas obtidas por associação dos votos de percepção e preferência, apresentando resultados mais significativos de conforto das pessoas.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os itens seguintes apresentam a análise dos dados físicos coletados (temperatura, radiação, umidade e velocidade do ar), fisiológicos (peso, altura, idade, vestimenta e atividade), os quais permitiram o cálculo dos índices selecionados (PMV e UTCI), e subjetivos (sensação, avaliação e preferência térmica), possibilitando avaliar os espaços pesquisados quanto ao conforto térmico, relacionando os dados calculados às respostas dos entrevistados.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Por meio das respostas obtidas nos formulários, pode-se fazer uma caracterização da população entrevistada, que estão dispostas nos gráficos seguintes, contendo as seguintes informações: gênero, idade, peso, altura, médias de metabolismo e vestimenta, tempo de moradia em Palmas–TO e região de origem (Figuras 2 a 7).

A amostra compreendeu uma população em sua maioria do sexo masculino, correspondendo a 61,4%, e 38% do sexo feminino, sendo que 0,6% não declararam o gênero (Figura 2). Dentre a grande variedade de faixa etária, entre 9 e 78 anos, predominou uma população jovem, com 73,1% abrangendo a faixa 20 à 50 anos de idade, conforme Figura 3, sendo 42,0% de 20 a 35 anos. Apenas 8,9% corresponde à faixa entre 9 e 20 anos, e 18% correspondem às faixas acima de 50 anos.

As variáveis peso e altura são proporcionais à idade da população entrevistada. Para o peso, o intervalo de 65 a 80Kg corresponde à maior parcela dos entrevistados, 37,1%, seguidos de 33,4% que compreende a faixa de 50 a 65Kg, e 18,4% entre 80 e 95Kg (Figura 4). No total acumulado, quase 90% dos entrevistados pesavam entre 50 e 95 Kg (88,9%). Menores parcelas correspondem às faixas com menos de 50Kg (5,4%) e entre 95 e 110 Kg (5,1%). Apenas 0,6% pesavam entre 110 e 120Kg, ou seja, uma parcela muito reduzida. Quanto à altura, a maior parte dos entrevistados, com uma porcentagem de 38,6%, corresponde ao intervalo de 1,65 à 1,75m, seguido de 28,5% dos entrevistados, entre 1,55 e 1,65m, e 19,5% entre 1,75 e 1,85m (Figura 5). Essas três faixas somam mais de 80% dos entrevistados (86,6%). Entre 1,45 e 1,55 a amostra apresentou 9,9%, e apenas 3,1% acima de 1,85m. Mais reduzida foi a faixa abaixo de 1,45m, apenas 0,4%.

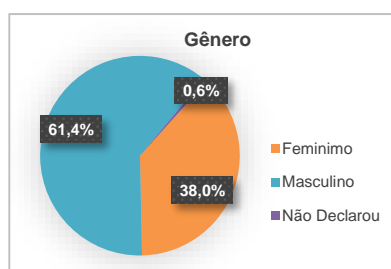


Figura 2 – Frequência relativa da amostra por Gênero.

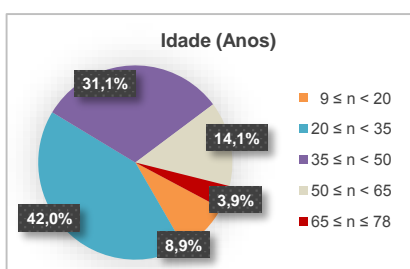


Figura 3 – Frequência relativa da amostra por Idade.

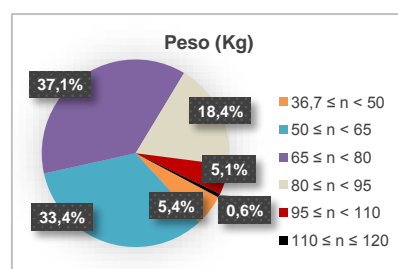


Figura 4 – Frequência relativa da amostra por Peso.

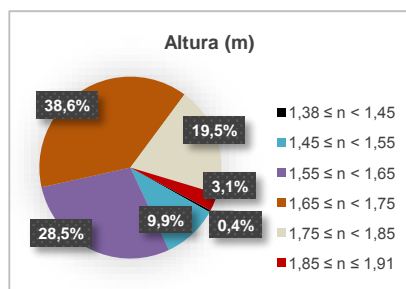


Figura 5 – Frequência relativa da amostra por Altura.

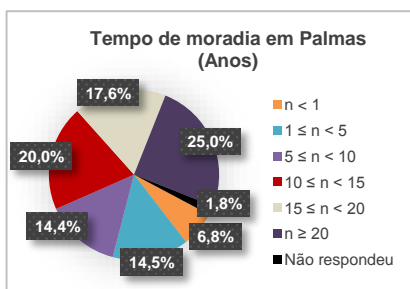


Figura 6 – Frequência relativa da amostra por Tempo de Moradia em Palmas-TO.

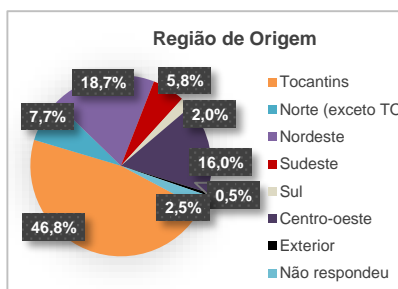


Figura 7 – Frequência relativa da amostra por Região de origem.

Os entrevistados também foram questionados quanto ao tempo de moradia em Palmas e à região de origem. Esta última difere da naturalidade, pois não corresponde à região de nascimento, mas à região onde os mesmos moravam anteriormente. As classes de tempo de moradia em Palmas demonstram uma amostra de grande diversidade (Figura 6). Pode-se observar que mais de 90,0% moravam em Palmas há mais de 1 ano. Deste percentual, 25% mora há mais de 20 anos na cidade e aproximadamente metade da amostra (52%) mora entre 5 e 20 anos. Quanto à região de origem, 46,8% da população entrevistada veio do próprio Estado do Tocantins. Destes, apenas dois entrevistados eram nascidos em Palmas–TO, os demais moravam anteriormente no interior do Estado. Secundariamente, os entrevistados eram oriundos da Região Nordeste (18,7%), seguidos

de 16% da Região Centro-Oeste, 7,7% dos outros estados da Região Norte, 5,8% da Região Sudeste, 2% da Região Sul e 0,5% do Exterior do país (Figura 7).

Além desses dados, calculou-se a média de metabolismo e do isolamento das roupas dos entrevistados, medidos em clo ($1\text{ clo} = 0,155\text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$) e met ($1\text{ Met} = 58,2\text{ W}/\text{m}^2 = 50\text{ kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$), respectivamente. A média de metabolismo foi de 1,9 Met e a média do isolamento das roupas foi de 0,49 clo.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DA PERCEPÇÃO TÉRMICA DOS ENTREVISTADOS

Para melhor compreensão da percepção térmica dos entrevistados, considerou-se nas entrevistas fatores como a sensação térmica da população entrevistada, preferência térmica e a avaliação de conforto. Tais variáveis são descritas nas recomendações da ISO 10551 (1995). De acordo com esta norma, estas três escalas devem ser aplicadas na seguinte ordem: escala de percepção, escala de avaliação e escala de preferência.

A percepção térmica (sensação térmica real) foi avaliada em uma estrutura de sete pontos, demonstrada na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Escala de percepção térmica

Polo A ←	Graus de intensidade			Neutro	Graus de intensidade			Polo B →
	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	
	Muito frio	Frio	Pouco frio	Neutro	Pouco Calor	Calor	Muito Calor	

Dentro da escala utilizada, a maior parte dos entrevistados alegou estar com *muito calor*, 45,3%, seguido de 20% com *calor*, e 14,9% com *pouco calor* (Figura 8). Quase 20% respondeu estar *neutro* (19,6% sem calor ou frio) e uma parcela mínima respondeu estar com *pouco frio* (0,3%).

A avaliação de conforto utilizou uma estrutura de escala binária (*confortável* ou *desconfortável*). O resultado da avaliação dos transeuntes nos locais de estudo revela que grande parte dos entrevistados possui voto *desconfortável*, parcela essa que corresponde a 75,1% dos mesmos, enquanto apenas 24,6% sente-se *confortável* (Figura 9).

A preferência térmica foi avaliada em uma estrutura de três escalas: *mais resfriado*, *sem mudanças* e *mais aquecido*. Em relação a esta variável, a grande maioria (84,4%) preferia estar *mais resfriado*, enquanto 15,1% não teve preferência por mudanças. Uma parcela mínima, 0,1% preferia estar *mais aquecido*, e 0,4% dos entrevistados não opinaram (Figura 10).

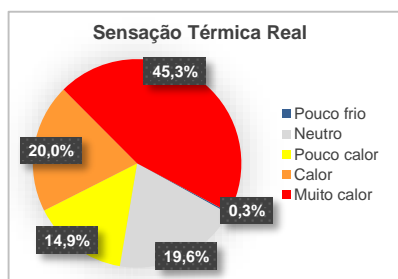


Figura 8 – Frequência relativa da Sensação Térmica Real dos entrevistados.

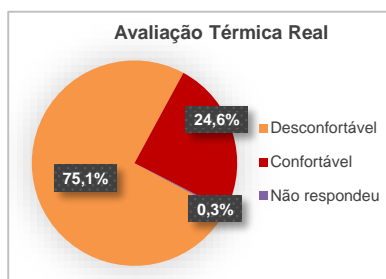


Figura 9 – Frequência relativa da Avaliação Térmica dos entrevistados.

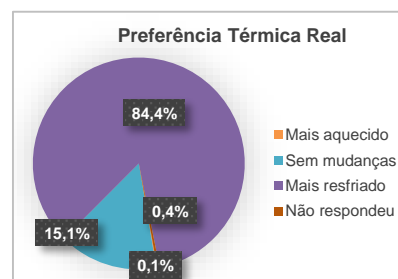


Figura 10 – Frequência relativa da Preferência Térmica dos entrevistados.

Para análise dos resultados de conforto térmico, Rossi (2012) propõe classificação a partir do cruzamento das respostas de percepção térmica e de preferência térmica. Aplicando a proposta da autora, as respostas dos questionários foram agrupadas em três categorias de estresse térmico (Tabela 2): Desconforto para o frio (percepção < 0 associado à preferência > 0); Conforto (percepção = 0 ou preferência = 0); Desconforto para o calor (percepção > 0 associado à preferência < 0).

Tabela 2 – Frequência relativa da Sensação Térmica Real por Preferência Térmica

Sensação Térmica Real Preferência Térmica	-3 Muito Frio	-2 Frio	-1 Pouco Frio	0 Neutro	+1 Pouco Calor	+2 Calor	+3 Muito Calor	TOTAL
Mais resfriado	0,0%	0,0%	0,1%	10,4%	12,4%	17,6%	44,2%	84,7%
Sem mudanças	0,0%	0,0%	0,1%	8,9%	2,4%	2,5%	1,3%	15,2%
Mais aquecido	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
TOTAL	0,0%	0,0%	0,3%	19,4%	14,8%	20,1%	45,4%	100,0%

A coluna e a linha central da Tabela 2 (em cinza escuro) correspondem aos votos de conforto, a parte inferior esquerda da tabela (em cinza claro) representa os votos de desconforto para o frio e a parte superior direita da tabela (em cinza claro) representa o desconforto para o calor. A porção superior direita mostra o percentual de pessoas que estavam sentindo calor e preferiam estar em um ambiente mais frio (12,4%, 17,6%

e 44,2%). A porção inferior esquerda mostra que não houve entrevistados que se sentiram com algum grau de frio e gostariam de estar em um ambiente térmico mais quente. A linha central, em cinza escuro, mostra a porcentagem de pessoas que mesmo sentindo algum grau de frio (0,1%) ou algum grau de calor (2,4%, 2,5% e 1,3%) preferiam continuar no mesmo tipo de ambiente térmico.

Totalizando as frequências relativas segundo faixas de conforto, de desconforto para o calor e desconforto para o frio, o resultado mostra 74,2% das pessoas em desconforto para o calor, 25,7% em conforto (Tabela 3). Nenhum entrevistado foi classificado com desconforto para o frio e 0,1% não se enquadra em nenhuma classificação proposta por Rossi (indivíduos que mesmo sentindo *pouco frio*, preferiam estar em ambiente *mais resfriado*).

Tabela 3 - Frequência relativa das Categorias de estresse térmico segundo classificação proposta por Rossi (2012)

Categorias de estresse térmico	
Desconforto para o Calor	74,2%
Conforto	25,7%
Desconforto para o Frio	0,0%
Não classificado	0,1%
Total	100,0%

4.3. VARIÁVEIS CLIMÁTICAS LEVANTADAS *IN LOCO*

Nos locais da pesquisa, foram coletados dados de temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa e velocidade do ar. A temperatura do ar mínima registrada nos dois locais de estudo foi de 29,1°C na Avenida JK e a máxima de 43,7°C, no mesmo local. Durante o período estudado, as máximas foram registradas entre as 15h e 16h e as mínimas nas primeiras horas do dia (Figuras 11 e 12).

A temperatura do globo acompanhou de forma semelhante ao registrado na temperatura do ar, obtendo os valores máximos entre as 14h e 16h e as mínimas nas primeiras horas do dia, com alguma variação entre os dias levantados na Avenida JK, conforme pode ver visto nas Figuras 13 e 14. A mínima registrada foi de 30,2°C e a máxima de 57,6°C, ambas na Avenida JK.

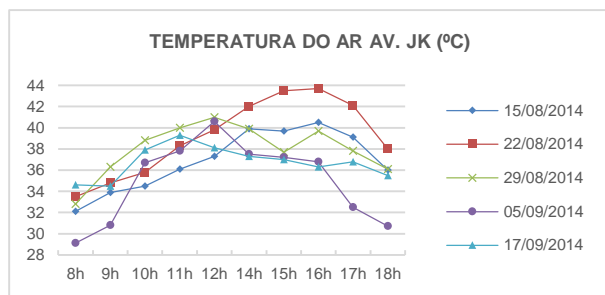


Figura 11 – Temperatura do ar na Avenida JK.

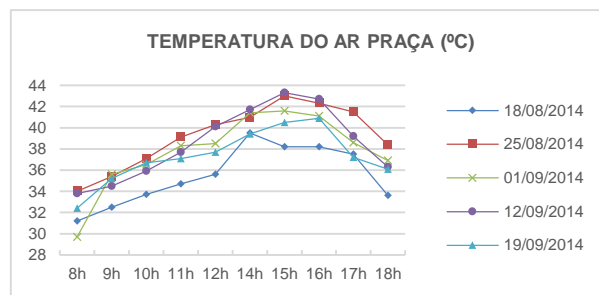


Figura 12 – Temperatura do ar na Praça dos Girassóis.

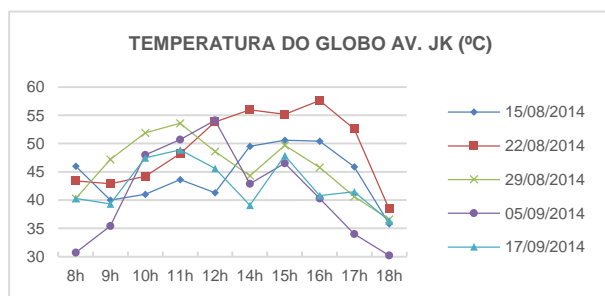


Figura 13 – Temperatura do globo na Avenida JK.

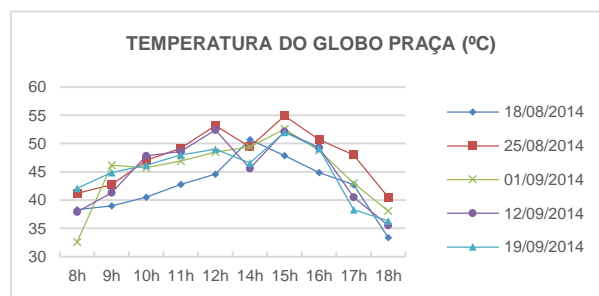


Figura 14 – Temperatura do globo na Praça dos Girassóis.

A umidade relativa do ar acompanhou de forma inversa o registrado na temperatura do ar (Figuras 15 e 16). A máxima registrada nos dois locais de estudo foi de 63% e a mínima de 21%, ambas na avenida JK, sendo as máximas nas primeiras horas do dia e as mínimas entre as 14h e as 16h.

A velocidade do ar não ultrapassou 2,36m/s sendo muitas vezes nula nos espaços estudados, no entanto, apresentou maiores valores durante o decorrer do dia na Praça do Girassóis (Figuras 17 e 18). A Avenida JK teve valores mais baixos, geralmente no período vespertino, entre 14h e 16h, período em que houve aumento da temperatura do ar. No entanto, neste mesmo período houve menor redução da umidade relativa do ar se comparado à Praça do Girassóis, o que demonstra que a reduzida ventilação pode ter contribuído para a retenção de umidade no local.

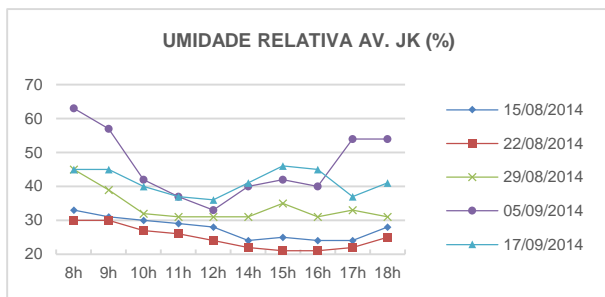


Figura 15 – Umidade Relativa na Avenida JK.

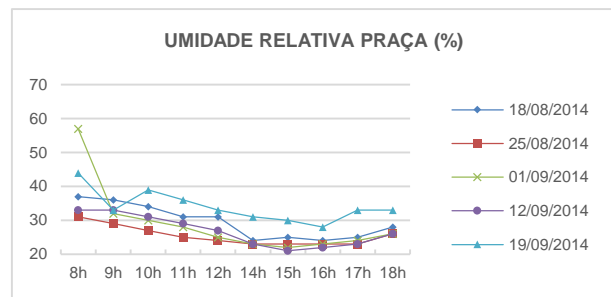


Figura 16 – Umidade Relativa na Praça dos Girassóis.

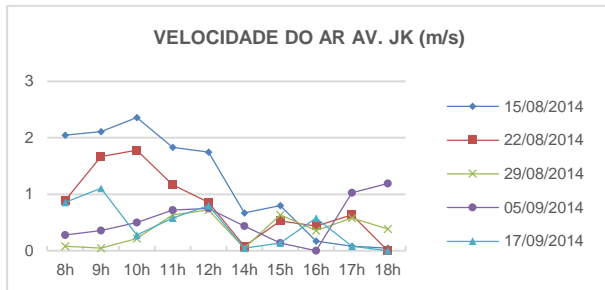


Figura 17 – Velocidade do ar na Avenida JK.

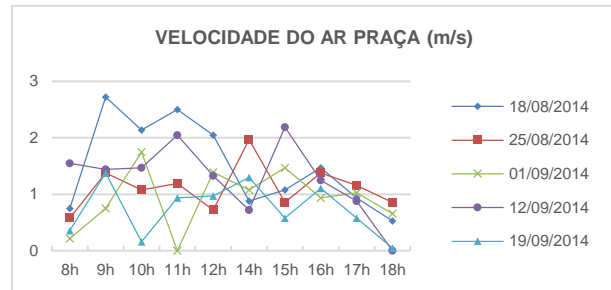


Figura 18 – Velocidade do ar na Praça dos Girassóis.

4.4. OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE CONFORTO PMV E UTCI

O índice UTCI foi obtido por meio dos dados: temperatura do ar, gradiente entre a temperatura radiante média e a temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do ar a 10m de altura. Para obter a temperatura radiante média utilizou-se a temperatura em termômetro de globo, a temperatura do ar e a velocidade do ar, utilizando as fórmulas da ISO 7726 (1998), para convecção natural e convecção forçada.

Para obter a velocidade do ar a 10m de altura, tendo em vista que o monitoramento da variável vento foi realizado na mesma altura do termômetro de globo, utilizou-se os procedimentos recomendados por Brøde *et al.* (2012, p. 491), aplicando um fator de escala para a determinação dessa variável.

Os parâmetros foram inseridos no site indicado na metodologia, obtendo os resultados indicados nas Figuras 19 e 20. Em 0,1% dos dados, o site não indicou valores calculados de UTCI, sendo estes considerados nulos. Os resultados encontrados quanto ao índice UTCI na Avenida JK apresentaram valores máximos em horários diversos nos dias pesquisados, entre 12h e 16h (Figura 19). O índice UTCI calculado na Praça dos Girassóis apresentou valores mais elevados às 15h em praticamente todos os dias de levantamento (Figura 20). Os valores encontrados na JK variaram mais durante os dias pesquisados que na Praça dos Girassóis. Em ambos os locais, o índice apresentou-se sempre superior a 30°C, ultrapassando os 50°C em alguns horários.

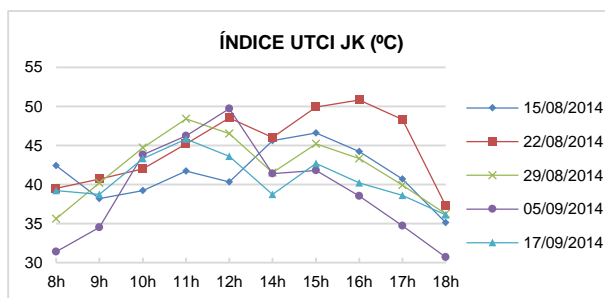


Figura 19 – Índice UTCI na Avenida JK.

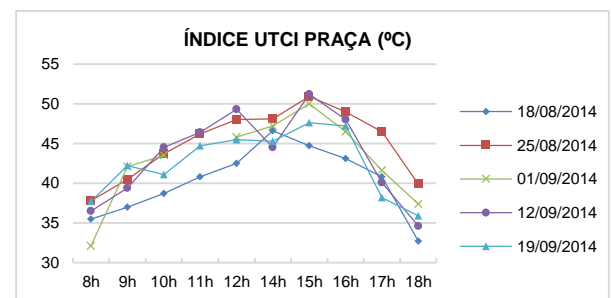
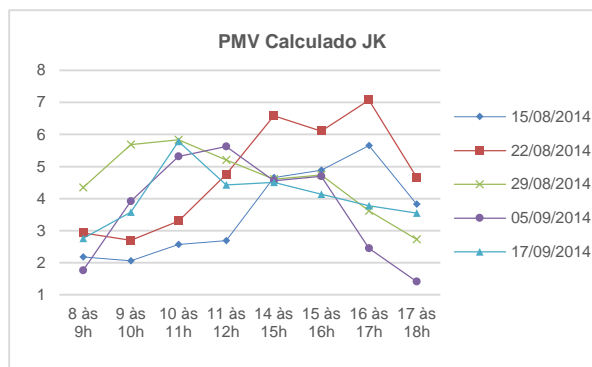


Figura 20 – Índice UTCI na Praça dos Girassóis.

O índice PMV é calculado a partir das variáveis temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade, metabolismo (met) e isolamento das roupas (clo). A temperatura radiante média foi obtida sob o mesmo procedimento descrito anteriormente. O metabolismo e isolamento das roupas foi obtido no formulário aplicado a cada um dos entrevistados. O PMV foi calculado para cada indivíduo, considerando as médias das variáveis ambientais no intervalo de hora medido. Em 3,6% dos casos, o site não indicou valores para o índice PMV, sendo estes considerados nulos e muitos valores ultrapassam a escala máxima de sete pontos proposto pelo índice. Após o cálculo individual no site indicado na metodologia, foram realizadas as médias dos índices PMV's de todos os indivíduos entrevistados no intervalo de hora considerado,

resultando nos gráficos das Figuras 21 e 22. Estes apresentam eixo vertical apenas de calor de +1 a +8, tendo em vista que os valores superaram o valor +3 do índice, chegando a ultrapassar +7 na avenida JK.



Pólo A ←	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	+ 5	+ 6	+ 7	+ 8	→ Pólo B
	Muito frio	Frio	Pouco frio	Normal	Pouco quente	Quente	Muito quente	Valores superiores ao proposto no índice					

Figura 21 – Índice PMV na Avenida JK.

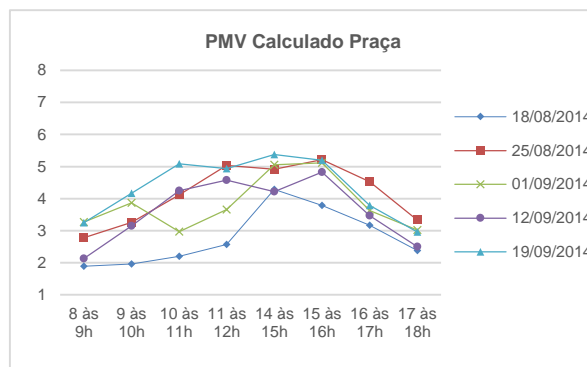


Figura 22 – Índice PMV na Praça dos Girassóis.

Dentre as categorias do índice PMV, todos os valores obtidos nos dois locais estudados estão contidos em escalas superiores a 1, ou seja, *pouco quente*. Na Avenida JK, conforme pode ser verificado na Figura 21, os maiores índices calculados encontram-se no intervalo de 14h às 17h no dia 22/08/2014, enquanto na Praça dos Girassóis estes valores máximos apresentaram-se de uma forma mais homogênea durante o dia, segundo Figura 22. A máxima do índice PMV calculado na Avenida JK foi superior a máxima do índice calculado na Praça dos Girassóis. O índice também teve maior variação horária entre os dias pesquisados na Avenida JK que na Praça dos Girassóis.

4.5. ANÁLISE DA AVALIAÇÃO TÉRMICA DOS ENTREVISTADOS COM O PMV E O UTCI CALCULADOS

Para comparar a avaliação térmica dos entrevistados com o PMV e UTCI calculados, foram utilizadas as categorias de estresse térmico proposta por Rossi (2012), comparando-os ao PMV e UTCI Calculados. A autora classificou o PMV em: desconforto para o frio $PMV < -0,5$; conforto $-0,5 \leq PMV \leq 0,5$; e desconforto para o calor $PMV > 0,5$. O UTCI foi classificado pela autora em: desconforto para o frio $UTCI < 18^{\circ}C$; conforto $18^{\circ}C \leq UTCI \leq 26^{\circ}C$ e desconforto para o calor $UTCI > 26^{\circ}C$. Os resultados levantados constam na Tabela 4 abaixo:

Tabela 4 - Frequência relativa de categorias de estresse térmico

Categorias de estresse térmico	Respostas dos entrevistados	PMV	UTCI
Desconforto para o Calor	74,2%	96,4%	99,9%
Conforto	25,7%	0,0%	0,0%
Desconforto para o Frio	0,0%	0,0%	0,0%
Não classificado/não calculado	0,1%	3,6%	0,1%
Total	100,0%	100,0%	100,0%

Como pode ser percebido, ambos os índices, PMV e UTCI, superestimaram o desconforto térmico para o calor dos entrevistados. Por este motivo, optou-se por fazer também comparações com os índices por sensação térmica, levando em consideração a avaliação proposta no índice UTCI, a escala do índice PMV e a sensação térmica real dos entrevistados. Os dados foram agrupados por local estudado, tendo em vista que os índices apresentaram diferenças significativas entre os dois locais. O PMV, apesar de ter uma escala de sete pontos igual a aplicada nos formulários (Tabela 1), por apresentar resultados numéricos contínuos, foi classificado de acordo com as classes: *neutro* $-0,5 \leq PMV < 0,5$; *levemente quente* $0,5 \leq PMV < 1,5$; *quente* $1,5 \leq PMV < 2,5$; *muito quente* $2,5 \leq PMV < 3,5$ (citados apenas graus de calor); os valores iguais ou acima de 3,5 foram classificados como valores extremos, por superarem a escala proposta pelo índice. O índice UTCI apresenta faixas de categorias de estresse térmico, segundo Bröde *et al.* (2012, p. 483), como: *sem estresse térmico* $9 \leq UTCI < 26$; *estresse por calor moderado* $26 \leq UTCI < 32$; *estresse por calor forte* $32 \leq UTCI < 38$; *estresse por calor muito forte* $38 \leq UTCI < 46$; *estresse por calor extremo* $UTCI \geq 46$; (citadas apenas as faixas de estresse para calor). Os resultados na avenida JK encontram-se nas Figuras 23 a 25:

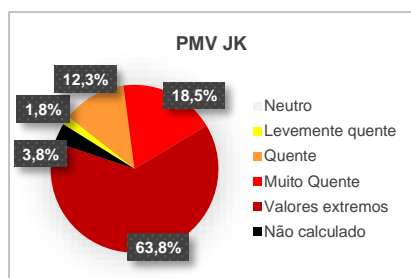


Figura 23 – Frequência relativa do Índice PMV na Avenida JK.

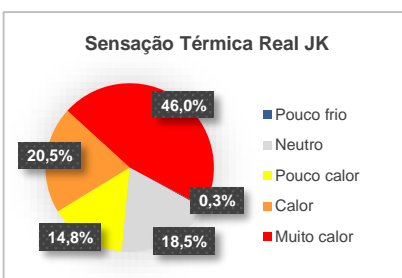


Figura 24 – Frequência relativa da Sensação Térmica Real dos entrevistados na Avenida JK.

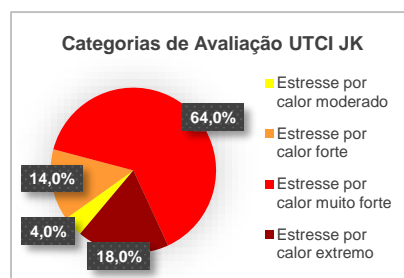


Figura 25 – Frequência relativa do Índice UTCI na Avenida JK.

Dentre os entrevistados na Avenida JK, a maioria encontrava-se com *calor* (20,5%) e com *muito calor* (46,0%), que somados representam 66,5% dos votos (Figura 24). Se comparados aos índices quanto a valores próximos, superiores a *quente*, no PMV temos 94,6% (Figura 23) e superiores a *estresse por calor forte*, no UTCI temos 96,0% (Figura 25). Os resultados dos índices ainda apresentaram valores muito superiores às respostas dos entrevistados. No entanto, verifica-se uma diferença relevante na distribuição de cada índice em relação à sensação térmica real. As faixas predominantes no PMV (valores extremos 63,8%) e na sensação térmica real (*muito calor* 46,0%) são as maiores faixas de *calor*, enquanto no UTCI predomina uma faixa intermediária, de *estresse por calor muito forte* (64,0%). A distribuição apresenta também uma subestimação de sensação térmica real de *pouco calor*, com 14,8% na resposta dos entrevistados, aparecendo em 4,0% da categoria UTCI *calor moderado* e quase nula no PMV, com 1,8% de *levemente quente*. A categoria de *estresse por calor moderado* foi considerada próxima da sensação térmica real *pouco calor* por ser a faixa imediatamente superior ao conforto nos graus de intensidade de calor no índice UTCI. Percebe-se também, que nenhum índice indicou sensação térmica *neutra*, o que foi indicado em 18,5% das respostas dos entrevistados.

Na Praça dos Girassóis, dentre os entrevistados, a maioria encontrava-se com *calor* (19,5%) e com *muito calor* (44,5%), totalizando 64,0% das pessoas (Figura 27). Comparando aos índices quanto a valores próximos, superiores a *quente* no PMV (96,6%, Figura 26) e superiores a *estresse por calor forte* no UTCI (100,0%, Figura 28), os resultados dos índices apresentaram valores muito superiores às respostas dos entrevistados. Novamente, verifica-se uma diferença acentuada na distribuição de cada índice em relação à sensação térmica real. As faixas predominantes no PMV (valores extremos 55,8%) e na sensação térmica real (*muito calor* 44,5%) são as maiores faixas de *calor*, enquanto no UTCI, da mesma forma que na Avenida JK, predomina uma faixa intermediária, de *estresse por calor muito forte* (46,9%). Percebe-se que nenhum índice indicou sensação térmica *neutra*, o que foi indicado em 20,8% das respostas dos entrevistados, e também nenhuma categoria próxima de *pouco calor*, indicado em 15,0% das respostas. Os valores mais próximos da sensação de *pouco calor* seriam no PMV a categoria *levemente quente*, e no UTCI *estresse por calor moderado*, e ambos não apresentaram nenhum percentual nestas faixas.

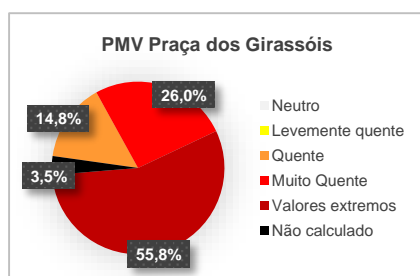


Figura 26 – Frequência relativa do Índice PMV na Praça dos Girassóis

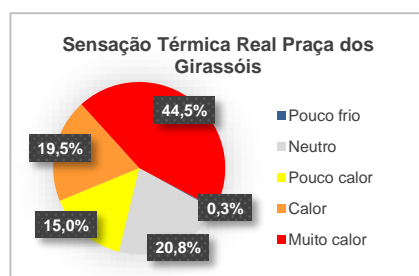


Figura 27 – Frequência relativa da Sensação Térmica Real dos entrevistados na Praça dos Girassóis.

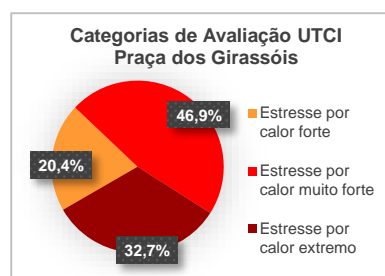


Figura 28 – Frequência relativa do Índice UTCI na Praça dos Girassóis.

5. CONCLUSÕES

Para avaliar a aplicação de dois índices de conforto térmico, PMV e UTCI, em espaços urbanos externos na cidade de Palmas–TO, objetivo da pesquisa, foi utilizada a proposta comparativa de Rossi (2012). Em ambos os locais pesquisados, notou-se que os índices apresentaram valores extremos, o que poderia representar o desconforto total das pessoas. No entanto, tal desconforto indicado nos índices contrastou com a resposta da população. Os transeuntes, em sua maioria, encontravam-se desconfortáveis quanto a sensação térmica no

local pesquisado, mas em percentual muito inferior ao indicado pelos índices. Tanto o PMV quanto o UTCI superaram não só a avaliação térmica de desconforto dos entrevistados, como também a sensação térmica de calor, o que indica a necessidade de sua adequação para avaliação destes espaços.

A proposta de análise de Rossi (2012), apesar de, neste caso, apresentar necessidade de outras comparações como as utilizadas com as sensações térmicas, teve grande utilidade para comparação dos índices com as respostas dos entrevistados. A comparação complementar utilizada na pesquisa não só confirmou o indicado pela proposta da autora, como também demonstrou que a escala utilizada de sensação térmica de sete pontos é pequena para demonstrar a realidade climática da cidade em estudo.

Na análise complementar, verificou-se que, apesar da superestimação de ambos os índices, o UTCI apresentou predominância de sensação térmica mais próxima da sensação térmica real que o índice PMV. Tanto na Avenida JK quanto na Praça dos Girassóis, o índice UTCI teve maior percentual na faixa de *estresse por calor muito forte*, com 64% e 46,9% respectivamente, valores mais próximos da sensação térmica real *muito calor*, que apresentou 46% e 44,5%, nos respectivos locais.

Embora a maior parte da população entrevistada tenha apresentado voto desconfortável, uma parcela expressiva encontrava-se confortável, se consideradas as condições climáticas interpretadas pelos índices. Tal percentual pode ser justificado pela subjetividade intrínseca às sensações das pessoas, que são influenciadas por fatores psicológicos, afetivos, socioculturais, entre outros.

Pelas dificuldades encontradas, como as grandes diferenças observadas nos índices, a necessidade de ampliação da escala de respostas da população e a subjetividade das respostas, sugere-se maior investigação nestes espaços utilizando tais índices, principalmente o UTCI, considerando um número maior de variáveis, tendo em vista a complexidade da análise da sensação térmica em espaços abertos em locais de clima quente como o de Palmas-TO. O presente estudo abre mais uma possibilidade na caracterização do conforto térmico na cidade estudada, contribuindo para futuras pesquisas sobre o tema em climas semelhantes, servindo também de instrumento para o planejamento urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 55**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2010.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. Tradução: Maria Juraci Zani dos Santos.
- BRÖDE, Peter; FIALA, Dusan; BLÁŽEJCZYK, Krzysztof; HOLMÉR, Ingvar; JENDRITZKY, Gerd; KAMPMANN, Bernhard; TINZ, Birger; HAVENITH, George. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). **International Journal of Biometeorology**, n. 56, p. 481–494, 2012.
- FANGER, Povl Ole. **Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering**. Nova Iorque: McGraw Hill, 1970.
- FONSECA, Jairo Simon da; MARTINS, Gilberto de Andrade. **Curso de estatística**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- FREITAS, C. R. de; GRIGORIEVA, E. A. A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices. **International Journal of Biometeorology**, n. 59, p. 109-120, 2015.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 28 maio 2014.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10551**: Ergonomics of thermal environment: Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales. Genebra, 1995.
- _____. **ISO 7726**: Ergonomics of the thermal environments: Instruments for measuring physical quantities. Genebra, 1998.
- KOENIGSBERGER, Otto H.; INGERSOEL, T. G.; MAYHEW, Alan; SZOKOLAY, S. V. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madrid: Paraningo, 1977.
- MASCARÓ, Lúcia Elvira Raffo de. **Energia na Edificação: estratégia para minimizar seu consumo**. 2. ed. São Paulo: Projeto, 1991.
- MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2011.
- ROSSI, Francine Aidie. **Proposição de metodologia e de modelo preditivo para avaliação da sensação térmica em espaços abertos em Curitiba**. Curitiba: UTFPR, 2012. Tese de doutorado em Tecnologia.
- SILVA, Valéria Cristina Pereira da. **Palmas, a última capital projetada do século XX: uma cidade em busca do tempo**. São Paulo: Cultura acadêmica, 2010.
- VELASQUES, Ana Beatriz Araujo. **A concepção de Palmas (1989) e sua condição moderna**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010. Tese de doutorado em Arquitetura e Urbanismo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFTO pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.