Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

ANÁLISE DO ÍNDICE UTCI EM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA NA CIDADE DE CUIABÁ, MATO GROSSO

RIBEIRO, Karyn Ferreira Antunes – karyn.ribeiro@cba.ifmt.edu.br
Instituto Federal do Mato Grosso / IFMT

JUSTI, Ana Clara Alves – clarasevla@gmail.com
Universidade Federal do Mato Grosso / UFMT

SANTOS, Flávia Maria de Moura – flavia_mms@hotmail.com
Universidade Federal do Mato Grosso / UFMT

PAULA, Diana Carolina Jesus de – arqdiana.paula@gmail.com
Universidade Federal do Mato Grosso / UFMT

NOGUEIRA, Marta Cristina de Jesus Albuquerque – mcjanp@gmail.com
Universidade Federal do Mato Grosso / UFMT

SOUZA, Natallia Sanches e – natalliass@hotmail.com
Universidade Federal do Mato Grosso / UFMT

ALVES, Keylyane Santos da Silva – keylyanesds@gmail.com
Universidade Federal do Mato Grosso / UFMT

Submetido em: 24/07/2020
Aceito para publicação em: 17/02/2021
Publicado em: 06/04/2021
DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v28i0.76079

RESUMO: O objetivo deste estudo foi analisar o índice UTCI em diferentes tipos de cobertura na cidade de Cuiabá, Mato Grosso. Assim, as variáveis ambientais foram coletadas por estações micro meteorológicas fixas e para estimar o UTCI, 1134 questionários foram aplicados, com perguntas subjetivas e processamento do software RayMan. A menor variação de temperatura do ar foi observada no cenário arborizado, com valores de 27,5 a 35,2°C no período quente-úmido e de 22,7 a 35,0°C no período quente-seco. A umidade relativa do ar também teve a menor variação neste cenário, com valores de 40,9 a 80,7% no período quente-úmido e de 28,70 a 81,0% no período quente-seco. Já a velocidade do vento exerceu pouca influência, com intensidade alternando entre calmo a leve brisa e com direção predominantemente sudeste em ambos períodos. Os valores mais adequados de UTCI foram expressos no cenário arborizado, com valores que variaram de 32,0 a 37,5°C e de 22,6 a 31,8°C para os períodos quente-úmido e quente-seco, respectivamente. Conclui-se que o índice UTCI mostrou-se adequado para analisar o conforto térmico nos diferentes tipos de cobertura analisadas, ajustando-se ao comportamento das variáveis ambientais aferidas. Os melhores resultados de conforto térmico foram encontrados para o cenário com sombreamento arbóreo, permitindo inferir a fundamental presença de árvores em meio urbano.

PALAVRAS-CHAVE: Árvore, Sombreamento, Temperatura do ar, Umidade relativa do ar.

ANALYSIS OF THE UTCI INDEX IN DIFFERENT TYPES OF COVERAGE IN THE CITY OF CUIABÁ, MATO GROSSO

ABSTRACT: The aim of this study was to analyze the UTCI index in different types of coverage in the city of Cuiabá, Mato Grosso. Thus, the environmental variables were collected by fixed micro meteorological stations and to estimate the UTCI, 1134 questionnaires were applied, with subjective questions and processing with the RayMan software. The smallest variation in air temperature was observed in the wooded scenario, with values of 27.5 to 35.2°C in the hot-humid period and from 22.7 to 35.0°C in the hot-dry period. The relative humidity of the air, also had the least variation in this scenario, with values of 40.9 to 80.7% in the hot-humid period and from 28.70 to 81.0% in the hot-dry period. The wind speed had little influence, with intensity alternating between calm and light breeze and with a predominantly southeast direction in both periods. The most appropriate values of UTCI were expressed in the wooded scenario, with values ranging from 32.0 to 37.5°C and from 22.6 to 31.8°C for the hot-humid and hot-dry periods, respectively. It is concluded that the UTCI index proved to be adequate to analyze thermal comfort in the different types of coverage analyzed, adjusting to the behavior of the measured environmental variables. The best results of thermal comfort were found for the scenario with arboreal shading, allowing to infer the fundamental presence of trees in an urban environment.

KEYWORDS: Tree, Shading, Air temperature, Relative humidity.

ANÁLISIS DEL ÍNDICE UTCI EN DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA EN LA CIUDAD DE CUIABÁ, MATO GROSSO

RESUMEN: El objetivo de este estudio fue analizar el índice UTCI en diferentes tipos de cobertura en la ciudad de Cuiabá, Mato Grosso. Así, las variables ambientales fueron recolectadas por microestaciones meteorológicas fijas y para el estudio de la UTCI se aplicaron 1134 cuestionarios, con preguntas subjetivas y procesamiento con el software RayMan. La menor variación en la temperatura del aire se observó en el escenario boscoso, con valores de 27,5 a 35,2° C en el período cálido-húmedo y de 22,7 a 35,0° C en el período cálido-seco. La humedad relativa del aire también tuvo la menor variación en este escenario, con valores de 40,9 a 80,7% en el período cálido-húmedo y de 28,70 a 81,0% en el período cálido-seco. La velocidad del viento tuvo poca influencia, con intensidad alternando entre brisa tranquila y ligera y con una dirección predominantemente sureste en ambos períodos. Los valores mas adecuados de UTCI se expresaron en el escenario boscoso, con valores que van de 32.0 a 37.5°C y de 22.6 a 31.8°C para los períodos caluroso-húmedo y caluroso seco, respectivamente. Se concluye que el índice UTCI resultó ser adecuado para analizar el confort térmico en los diferentes tipos de cobertura analizados, ajustándose al comportamiento de las variables ambientales medidas. Los mejores resultados de confort térmico se encontraron para el escenario con sombreado arbóreo, permitiendo inferir la presencia fundamental de árboles en un entorno urbano.

PALABRAS CLAVE: Árbol, Sombreado, Temperatura del aire, Humedad relativa del aire.

1. INTRODUÇÃO

A sensação térmica humana e o conforto ou desconforto térmico em ambientes ao ar livre têm recebido atenção recentemente tanto pelos climatologistas urbanos, quanto pelos biometeorologistas e bioclimatologistas humanos (PARK, TULLER, JO, 2014).

Tal interesse ocorre porque a substituição da cobertura natural terrestre por materiais artificiais impermeáveis altera as propriedades físicas das superfícies e o balanço de energia. Consequentemente, as áreas urbanas possuem temperaturas do ar mais elevadas do que as áreas rurais do entorno,

fenômeno que é denominado de Ilha de Calor Urbana (Urban Heat Island – UHI), (KRÜGER, 2016; TEOBALDO NETO, AMORIM, 2017).

A UHI significa que as cidades e vilas são mais quentes à noite do que as áreas rurais, devido à absorção da radiação solar pelo concreto e asfalto, principais estruturas do meio urbano, que dissipam no período noturno toda a energia acumulada durante o dia (LEVEMORE et al., 2018).

Nessa perspectiva, consideráveis pesquisas foram realizadas, almejando compreender as peculiaridades de tal fenômeno e registrar a sua magnitude (OKE, 1982; KOTHARKAR, RAMESH, BAGADE, 2018).

Os resultados indicam que a intensidade da UHI pode atingir uma diferença de temperatura do ar de até 10ºC, dependendo das propriedades urbanas e das condições climáticas locais, impactando diretamente na vida dos cidadãos em relação à piora das condições de conforto térmico (LIMA, 2016; QUERINO, 2017; JUSTI et al., 2019).

Para contornar tal situação, a introdução da vegetação no ambiente urbano é reconhecida como uma solução econômica, baseada na natureza para amenizar as sequelas do aquecimento e os seus benefícios podem ser observados em parques e praças no que diz respeito ao microclima e o conforto térmico da população (SILVA, XAVIER, ALVAREZ, 2015; RODRIGUES, PASQUALETTO, GARÇÃO, 2017; SHINZATO, DUARTE, 2018; LIMA et al., 2019).

Existem diversas maneiras de avaliar o conforto térmico de ambientes externos, entre eles tem-se a aplicação dos índices de conforto térmico humano, dos quais o Índice Universal Térmico Climático (*Universal Thermal Climate Index* - UTCI), se destaca e é amplamente aceito na literatura.

O UTCI, inicialmente desenvolvido pela *International Society of Biometeorology* (ISB), resulta em uma temperatura equivalente a um ambiente de referência, sendo válido para todo o intervalo de trocas de calor entre o corpo e o ambiente. É também classificado em categorias de estresse térmico, por faixas da temperatura resultante, variando de extremo estresse para o frio a extremo estresse para o calor (BRÖDE et al., 2011).

É considerado como um dos índices mais abrangentes para o cálculo do estresse térmico em espaços externos, pois foi desenvolvido para ser aplicado em todos os tipos de clima (BŁAŻEJCZYK; NILSSON, HOLMÉR, 1993).

Portanto o objetivo desse estudo foi estimar o UTCI em diferentes tipos de cobertura na cidade de Cuiabá, Mato Grosso.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) foi escolhida como área de estudo, pois detém uma movimentação constante de alunos, professores, técnicos e de civis, que a utilizam para as mais diversas atividades.

A mesma situa-se no campus de Cuiabá, capital de Mato Grosso e região centro-oeste do Brasil, nas coordenadas geográficas 15°35’56” de latitude Sul e 56°06’01” de longitude Oeste. Cuiabá possui 165m de altitude e uma área de 3.224,68 km² de extensão, sendo que deste total, cerca de 92,2% é referente à

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

área rural e 7,8% à área urbana (CUIABÁ, 2010; IBGE, 2018), como pode ser visto na Figura 1.

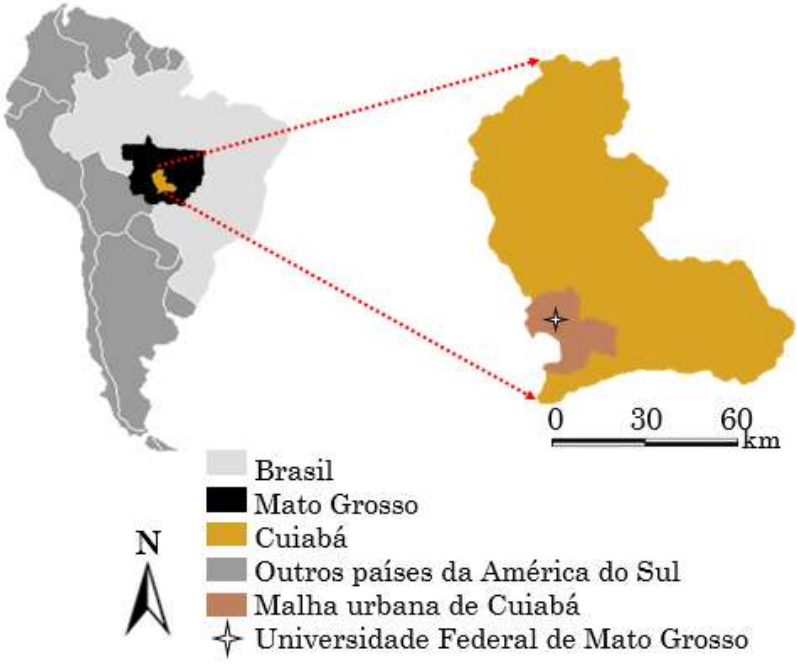

Figura 1 - Localização da área de estudo. Fonte: Elaborado pelas autoras (2021).

Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o perfil climático de Cuiabá é tropical continental semiúmido, do tipo Aw, com duas estações representadas por chuvas na primavera-verão e por estiagem no outono-inverno (CLIMATE-DATA, 2021).

Sendo assim, a temperatura média máxima anual do ar varia de 31 a 34°C e a média mínima anual, varia entre 18 a 21°C. A umidade relativa do ar tem a média anual de 70% na estação chuvosa, atingindo valores de 12% na estação de estiagem (MAITELLI, 2005; ROCHA, 2018). Ao mesmo tempo que a direção do vento é predominantemente norte e noroeste durante a maior parte do ano, e sul no outono-inverno, com velocidade variando de calmaria a leve brisa. E, o total anual de precipitação pluviométrica é de aproximadamente 1.350 mm (INPE, 2018).

A UFMT detém 74 hectares de área heterogênea, composta por diferentes tipos de uso e ocupação do solo, dentre os quais destacam-se as praças. Portanto, a escolha do local baseou-se na representatividade da porção urbana de Cuiabá e pelo próprio ambiente, que permite a coleta de dados em três cenários distintos (C1, C2 e C3), como pode ser observado na Figura 2.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

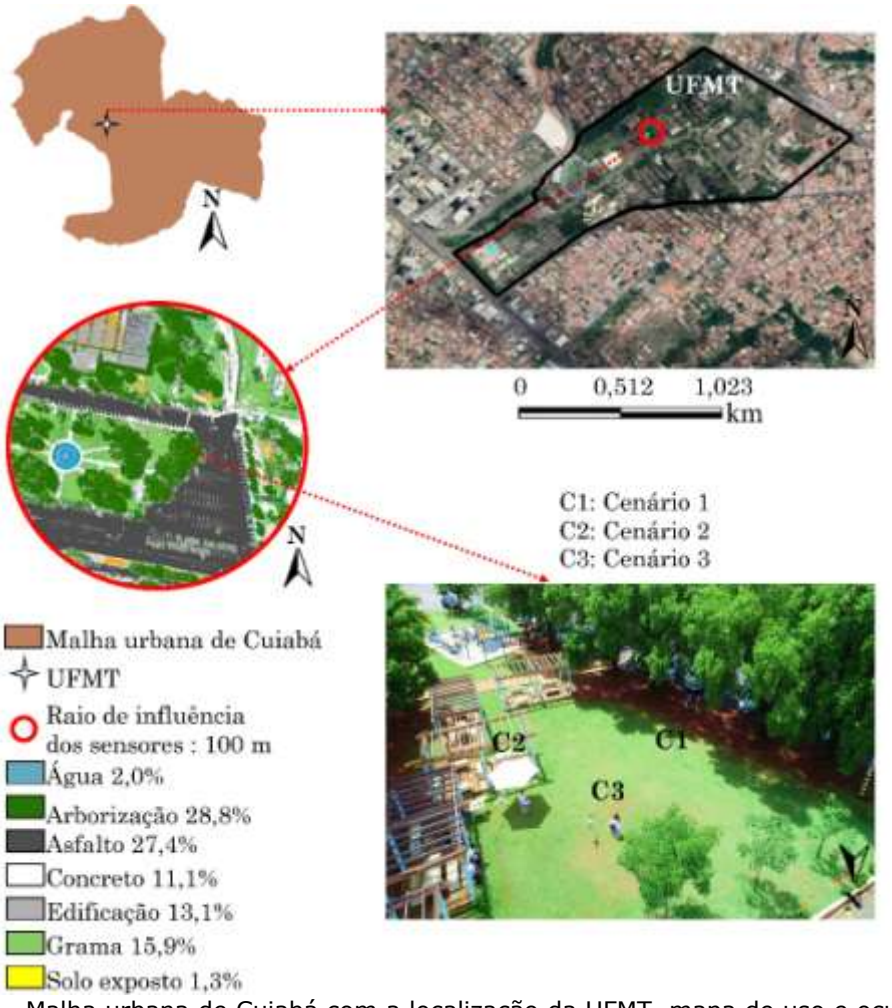

Figura 2 - Malha urbana de Cuiabá com a localização da UFMT, mapa de uso e ocupação do solo, considerando o raio de influência dos sensores utilizados e com os respectivos percentuais de cobertura, juntamente com a vista superior dos três cenários. Fonte: Elaborado pelas autoras (2021).

O C1 é caracterizado por sombreamento arbóreo propiciado pela espécie *Licania tomentosa*, o C2 é representado por sombreamento artificial de um guarda-sol 100% poliéster, com 3 m de diâmetro e 2,45 m de altura e o C3, é definido como totalmente exposto ao sol.

2.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental ocorreu após a definição da área de estudo, em dias com condições atmosféricas ideais, ou seja, céu claro e ventos fracos (OKE, 1982) e em período integral, com início às 9h00/8h00 e término às 18h00/17h00, considerando o horário normal e de verão, respectivamente.

Todavia, por respeitar fielmente as condições recomendadas por Oke (1982), foram amostrados apenas dois dias de cada estação do ano, agrupados em dois períodos distintos, quente-úmido e quente-seco, com interrupção do procedimento experimental quando constatada mudança brusca do tempo, conforme a Tabela 1 evidência.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 1 – Datas das coletas micrometeorológicas e da aplicação dos questionários

Mês/Ano	Dias	Horário	Estação	Período
Nov. de 2018	26	9h00 às 18h00	Primavera	Quente-úmido
Dez. de 2018	06	9h00 às 18h00	Primavera	Quente-úmido
Fev. de 2019	25*	8h00 às 17h00	Verão	Quente-úmido
Mar. de 2019	8**18*19**	8h00 às 17h00	Verão	Quente-úmido
Mai. de 2019	17	8h00 às 17h00	Outono	Quente-seco
Mai. de 2019	29	8h00 às 17h00	Outono	Quente-seco
Jul. de 2019	16	8h00 às 17h00	Inverno	Quente-seco
Ago. de 2019	7*15**	8h00 às 17h00	Inverno	Quente-seco

* Coleta realizada das 8h00 às 12h00, com descarte dos dados na parte da tarde por motivos de chuva; ** Coleta realizada das 13h00 às 17h00, com descarte dos dados na parte da manhã por motivos de chuva.

Logo, a partir da metodologia proposta por Cheng et al. (2011), escolheu-se previamente um grupo com o total de 30 participantes, que permaneceu sem alterações ao longo da realização deste estudo, composto por 56,6 % de mulheres e 43,4 % de homens. Por esses percentuais, adotou-se um valor médio de 1,54 m, 64 kg e idade de 24 anos para as mulheres e de 1,74 m, 74 kg e idade de 54 anos para os homens.

A taxa metabólica também foi igualmente definida para todos os participantes, estabelecendo a posição sentada (atividade metabólica de 55 W, conforme a ISO 7730 (ISO, 2005) e camiseta na cor branca (vestimenta de 0,5 clo), conforme a ISO 9920 (ISO, 2007).

Esses critérios de padronização foram tomados com a finalidade de remover os efeitos individuais e compreender as mudanças genuínas na sensação térmica em diferentes condições climáticas, estimando o índice de conforto térmico com mais precisão (CHENG et al., 2011).

Dessa forma, foi feita uma escala de participação, incluindo três diferentes participantes a cada hora. Com isso, os participantes eram rearranjados nos três cenários, com trocas simultâneas de 10 em 10 min, sempre no sentido horário. Assim, no período de uma hora, cada participante ficou duas vezes em cada um dos cenários.

Nessa perspectiva, aproximando-se do término dos 10min, os participantes respondiam questionários, com perguntas associadas à percepção térmica, preferência térmica, conforto térmico, sensibilidade térmica e características pessoais como: altura, peso, idade, sexo (HIRASHIMA, 2014), totalizando a quantidade de 1.134 questionários, ou seja, 378 em cada cenário.

As coletas de variáveis ambientais foram realizadas por três estações micro meteorológicas iguais, fixas cada uma em um cenário, posicionadas a 1,00m de altura da superfície do solo, com sensores distribuídos em uma barra de metal de aproximadamente 70cm, coletando dados de temperatura do ar (T_a), temperatura de globo (T_g), umidade relativa do ar (UR), direção (D_v) e velocidade do vento (V).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

É válido destacar que os globos e os abrigos foram confeccionados por meio de informações fornecidas pela literatura, proposta e desenvolvida por Hirashima e Assis (2011), que detalham a confecção e aferição de ambos.

Já a direção e a velocidade do vento, foram aferidas por indicadores de direção do vento e anemômetros de conchas, projetados e fabricados pelo grupo de instrumentação científica do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PGFA) da UFMT (RIBEIRO et al., 2019).

A Figura 3 exibe com detalhes os equipamentos utilizados.

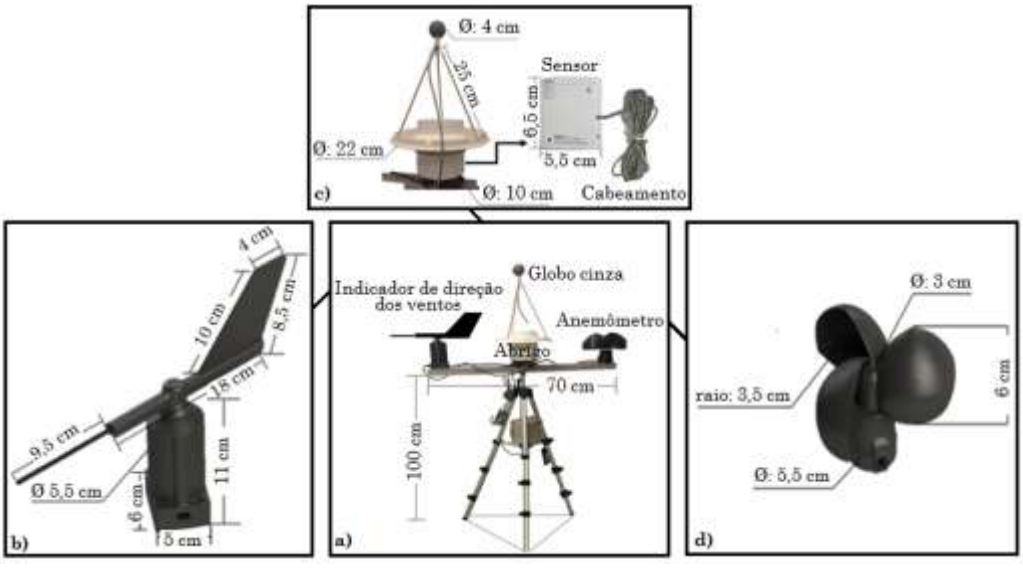

Figura 3 - a) Estação micro meteorológica, b) Indicador de direção do vento, c) Abrigo do sensor e d) Anemômetro. Fonte: Adaptada de Ribeiro et al. (2020).

As variáveis T_a, T_q bem como a UR, foram registradas por sensores termo-higrômetros do tipo *datalogger*, modelo HOBO U12-012 – Onset, protegidos por abrigos alternativos de Policloreto de Vinila (PVC) e com cabeamento externo ligados a globos de cor cinza.

A descrição técnica das características dos sensores e dos demais equipamentos é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades dos sensores e equipamentos utilizados, na coleta das variáveis ambientais.

Propriedades	**Variáveis**				
	T_a (°C)	**T_g (°C)**	**UR (%)**	**D_v (°)**	**V (m s^{-1})**
Faixa de medição	-20 a 70	-20 a 70	5 a 95	0 a 360	Até 76
Acurácia	± 0,35	± 0,35	+/- 2,5	±7	±1
Resolução	0,03	0,03	0,03	1	0,5

Fonte: HOBO® (2021).

Por fim, a temperatura radiante média (T_{rm}) foi calculada, considerando o diâmetro do globo de 4 cm e a sua emissividade de 0,9 para a cor cinza (HIRASHIMA, ASSIS, 2011), com a utilização da equação da ISO 7726 (ISO, 1998):

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

$$Trm = \left[(T_g + 273)^4 + \frac{1{,}1.10^8 . V^{0,6}}{\varepsilon_g . D^{0,4}} (T_g - T_a) \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (1)$$

Em que:

T_g : Temperatura de globo (°C);

T_a : Temperatura do ar (°C);

V : Velocidade do vento ($m.s^{-1}$);

ε_g : Emissividade do globo;

D : Diâmetro do globo (m).

A importância de aferir todas estas variáveis deve-se à necessidade de analisar as trocas térmicas secas (condução, radiação e convecção – calor sensível) e úmidas (evaporação, condensação e na presença de vegetação a evapotranspiração – calor latente) entre o corpo e o ambiente externo, na busca do conforto térmico (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2004).

2.3 ANÁLISE DOS DADOS

A análise de conforto térmico foi efetuada utilizando o UTCI, estimado através do *software* RayMan, criado por Andreas Matzarakis e cedido de forma gratuita (MATZARAKIS, RUTZ, MAYER, 2007; MATZARAKIS, RUTZ, MAYER, 2010).

Desse modo, os dados de entrada foram agrupados com informações referentes à data, hora, local (h), T_a (°C), UR (%), V ($m\ s^{-1}$) e T_{rm} (°C) de cada amostragem e cenário. Manualmente completou-se também o banco de dados com informações de localização, latitude, longitude, altitude e fuso horário locais, além de altura, peso, idade, sexo, vestimenta, atividade metabólica e posição do indivíduo anteriormente padronizados (RIBEIRO et al., 2020).

Posteriormente, obteve-se os dados de saída, analisados mediante a seleção do índice de interesse e para averiguar os resultados adquiridos, utilizou-se a Tabela 3.

Tabela 3 - Valores do UTCI e suas sensações térmicas.

UTCI (°C)	Sensação térmica
> 46	Extremo estresse para o calor
38 a 46	Fortíssimo estresse para o calor
32 a 38	Forte estresse para o calor
26 a 32	Moderado estresse para o calor
18 a 26	Conforto térmico
9 a 18	Sem estresse
0 a 9	Pouco estresse para o frio
0 a -13	Moderado estresse para o frio
-13 a -27	Forte estresse para o frio
-27 a -40	Fortíssimo estresse para o frio
<-40	Extremo estresse para o frio

Fonte: Adaptada de Havenith e Fiala (2015)

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Ademais, tanto os dados ambientais quanto os de conforto térmico, passaram por análise estatística, empregando o IBM SPSS (2019), com licença pertencente à Universidade de Cuiabá (UNIC).

Para tal, primeiramente fez-se a análise de normalidade e homogeneidade dos dados, por meio do teste de Shapiro-Wilk e posteriormente do teste de Levene. Constatando a não normalidade dos dados, optou-se pelo teste de Kruskall-Wallis, observando o efeito dos cenários nas variáveis aferidas, para p.<0,05 (GLANTZ, 2014; PAULA, 2017; MIRANDA, 2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE AMBIENTAL

A Figura 4 evidencia os valores de T_a nos períodos quente-úmido e quente-seco.

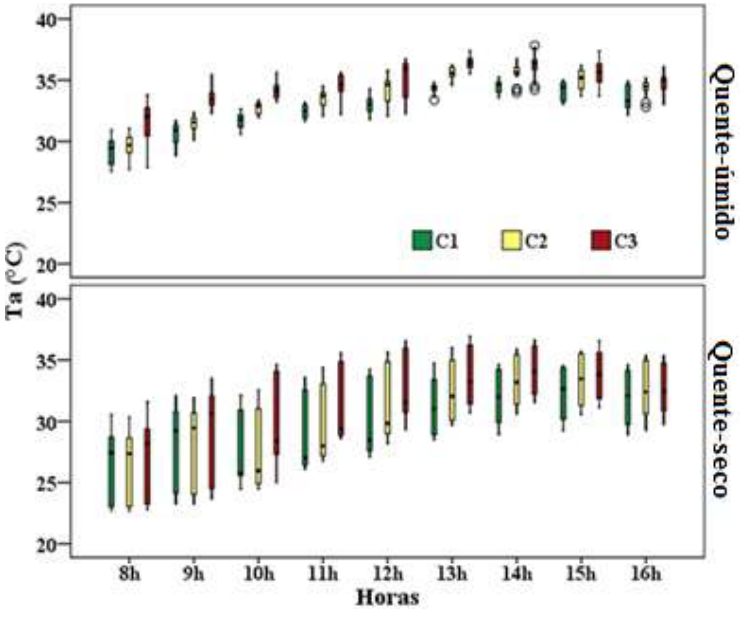

Figura 4 - Comportamento da variável temperatura do ar (T_a)

Observando a distribuição horária dos dados, verifica-se que para os cenários com sombreamento arbóreo (C1), sombreamento artificial (C2) e totalmente exposto ao sol (C3), as maiores T_a foram registradas no horário das 14h00 no período quente-úmido com 35,20°C, 36,80°C e 37,80°C, no C1, C2 e C3.

Souza (2016) também verificou em sua pesquisa um pico da T_a por volta das 14h00, fato que está associado diretamente com o balanço de energia do ambiente urbano. Constata-se uma diferença de 1,6°C entre o C1 e C2 e de 2,6°C entre o C1 e o C3.

As menores T_a foram aferidas no horário das 8h00 e no período quente-seco, com 22,72°C, 22,68°C e 22,80°C, no C1, C2 e C3, consecutivamente. Logo, ao comparar esses valores, observou-se uma diferença de 0,04°C entre o C1 e C2 e de 0,08°C entre o C1 e o C3.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Nota-se também que, somente a partir das 10h00 do período quente-úmido e das 11h do período quente-seco ocorreram variações entre o C1 e o C2. Ou seja, nas primeiras horas do dia, os dois ambientes obtiveram valores semelhantes de T_a, podendo estar relacionada com a baixa incidência solar do horário. Todavia, no período quente-úmido, os valores de T_a apresentaram menor amplitude térmica, justificada pela presença de vapor d' água atuando como um regulador térmico (SANTOS, 2012; SOUZA, 2016).

No que se refere à análise estatística dos dados de T_a, observa-se que há efeito dos cenários com $p<0,05$. Ressaltando o potencial do sombreamento arbóreo em relação ao artificial em mitigar a radiação solar e consequentemente diminuir a T_a.

Com relação à UR, os maiores valores foram mensurados no horário das 8h00, com 80,70%, 80,10% e 81,20% no período quente-úmido e com 81,00%, 81,60% e 81,40% no período quente-seco, para o C1, C2 e C3 respectivamente, (Figura 5).

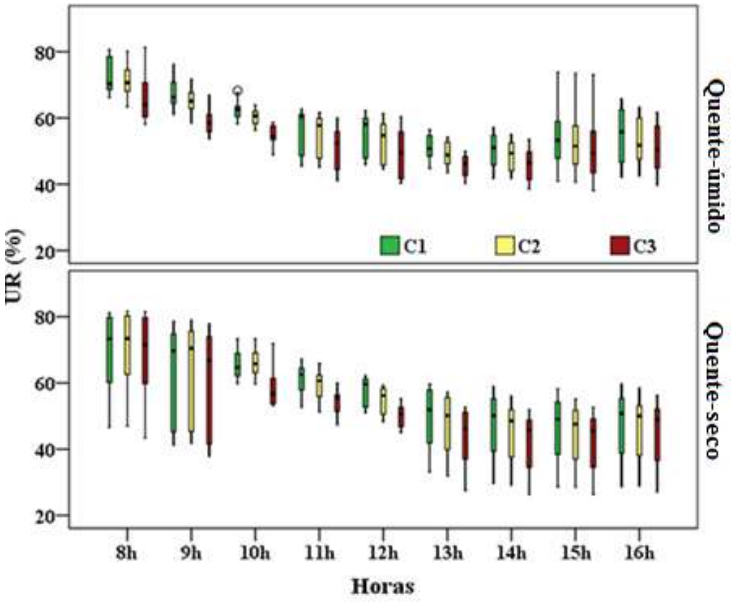

Figura 5 - Comportamento da variável umidade relativa do ar (UR)

Em contrapartida, os menores valores foram aferidos no horário entre as 14h00 e 15h00, com 40,90%, 40,60% e 38,10% no período quente-úmido e com 28,70%, 28,60% e 26,30% no período quente-seco, para o C1, C2 e C3 seguidamente.

Contudo, o C3 foi o que atingiu a maior amplitude higrométrica em ambos os períodos, com 43,10% no período quente-úmido e 55,10% no quente-seco, enquanto que o C1 apresentou a menor amplitude, com 39,80% e 52,30% para os mesmos períodos, consecutivamente.

Na análise dos dados de UR, o teste de Kruskall-Wallis mostrou que há efeito dos cenários na UR, evidenciando mais uma vez o potencial benéfico da vegetação de reter a umidade presente no ar (RIBEIRO et al., 2018) devido ao processo de evapotranspiração.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

O desempenho da velocidade do vento foi praticamente uniforme nos três cenários, sendo que, no C1, a variação foi de 0,2 a 2,6m.s^{-1} e de 0,2 a 3,1m.s^{-1} nos períodos quente-úmido e quente-seco sucessivamente. No C2, de 0,4 a 1,8m.s-^{1} e de 0,4 a 3,5m.s^{-1} e por fim, no C3, de 0,3 a 2,7m.s^{-1} e de 0,3 a 3,0m.s^{-1} para os mesmos períodos.

Já a direção do vento, mostrou-se predominante Sudeste (SE) para o C1 e C2 e predominante Leste (E) para o C3, no período quente-úmido. Enquanto, no período quente-seco, a direção foi predominante Sudeste (SE) para todos os cenários (Figura 6).

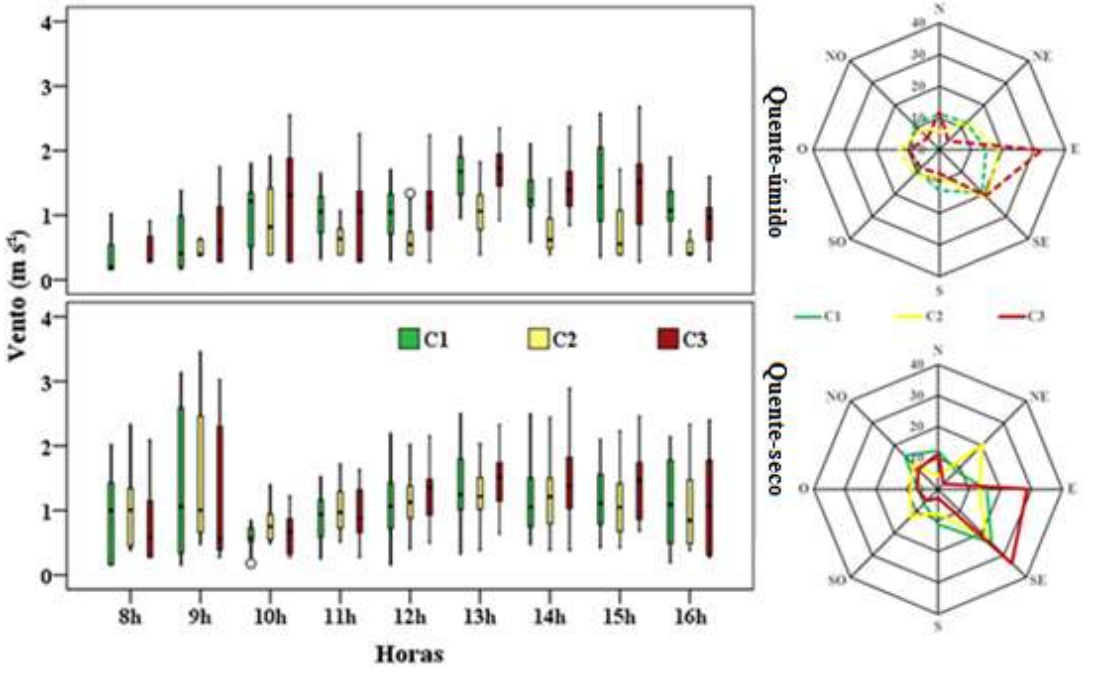

Figura 6 - Comportamento das variáveis velocidade do vento (V) e direção do vento (D_v)

Dessa forma, considerando a escala de Beaufort, a intensidade dos ventos variou de calma a brisa leve, exercendo, pouca influência nas demais variáveis ambientais e corroborando com outros trabalhos existentes (NINCE, 2013; FRANÇA, 2017).

Todavia, segundo Campelo Jr. et al. (1991), em estudo realizado sobre a caracterização macroclimática de Cuiabá (dados INMET- 1970 a 1989), a frequência dos ventos dominantes em Cuiabá foi preferencialmente Norte (N) e Noroeste (NW), divergindo dos valores registrados nesse estudo. Porém, esse fato pode ser explicado pela crescente urbanização, que devido aos efeitos de rugosidade, exerce influência na velocidade e direção do vento.

3.2 ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO

Os menores valores da T_{rm} foram registrados no período quente-seco às 8h00, com 23,60°C, 25,00°C e 25,12°C para o C1, C2 e C3 respectivamente. Já os maiores valores ocorreram no período quente-úmido entre às 13h00 e 15h00, com 39,70°C, 47,40°C e 63,60°C para os mesmos cenários

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

sequencialmente. Nessa perspectiva, considerando apenas os maiores valores, as diferenças encontradas foram de 7,7°C entre o C1 e o C2, indicando a atenuação da radiação solar direta devido aos tipos de sombreamento.

Entre os cenários C1 e C3, a T_{rm} registrou 23,9°C observando maior amplitude térmica, pois em C1 há a presença de arborização de copa densa, reforçando a influência das trocas térmicas (calor sensível e latente) por radiação e evapotranspiração no ambiente (Figura 7).

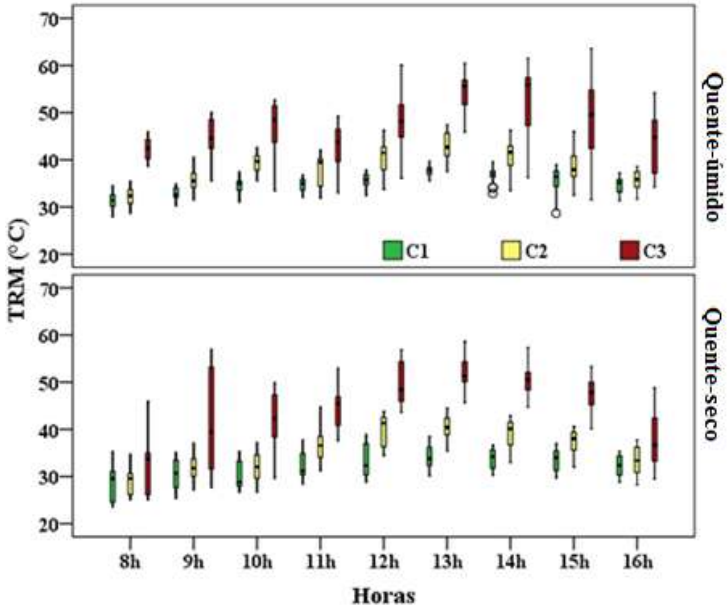

Figura 7 - Comportamento da variável temperatura radiante média (T_{rm})

Com isso, a importância da T_{rm} para a avaliação do conforto térmico em espaços abertos, vem sendo amplamente discutida (MATZARAKIS, RUTZ, MAYER, 2010; KRÜGER, 2016). Em condições de exposição solar, a T_{rm} pode ser considerada a melhor variável de análise das condições de conforto térmico (ABREU-HARBICH, LABAKI, MATZARAKIS, 2015).

Em relação aos questionários respondidos, a Tabela 4 evidencia as porcentagens obtidas.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 4 - Porcentagens das respostas obtidas pelos questionários, tanto no período quente-úmido (QU), quanto no período quente-seco (QS)

Perguntas		C1		C2		C3	
		QU %	QS %	QU %	QS %	QU %	QS %
Percepção térmica	Com muito frio	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Com frio	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0	0,5
	Um pouco de frio	0,0	2,7	0,0	2,7	0,0	2,2
	Bem	73,9	82,3	27,8	42,5	6,1	15,6
	Um pouco de calor	23,3	14,5	50,0	40,3	20,6	32,8
	Com calor	2,8	0,0	18,9	14	36,1	37,6
	Com muito calor	0,0	0,0	3,3	0,5	37,2	11,8
Preferência Térmicas	Com muito mais frio	1,7	0,0	5,0	0,5	21,7	8,1
	Com mais frio	7,2	3,8	20,6	23,1	31,7	27,4
	Um pouco de frio	34,4	21,5	50,6	37,1	42,0	49,5
	Sem mudanças	56,7	71,5	23,9	36,6	4,4	12,4
	Um pouco de calor	0,0	3,2	0,0	2,7	0,0	2,7
	Com mais calor	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Com muito mais frio	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Conforto térmico	Confortável	76,7	84,4	32,8	45,7	5,0	15,1
	Um pouco desconfortável	21,7	15,1	54,4	49,5	36,7	42,5
	Desconfortável	1,7	0,5	8,9	4,8	28,9	32,3
	Muito desconfortável	0,0	0,0	3,9	0,0	29,4	10,2
Sensibilidade térmica	Muito frio	16,7	29,0	16,7	28,5	17,2	29,0
	Muito calor	46,7	51,5	50,0	53,8	52,2	51,6
	Nem um nem outro	36,7	19,9	33,3	17,7	30,6	19,4

Para a percepção térmica, o C1 teve a maior parte de suas respostas concentradas em "bem", com 73,9% e 82,3% nos períodos QU e QS respectivamente. No C2, a maior concentração foi em "um pouco de calor", com 50,0% e 40,3%, obedecendo a mesma ordem de períodos. E, no C3, as maiores concentrações dividiram-se em "com muito calor", com 37,2% no QU e "com calor", com 37,6% no QS.

A preferência térmica dos participantes no C1 concentrou-se principalmente em "sem mudanças", com 56,7% e 71,5% nos períodos QU e QS consecutivamente. A maior concentração foi observada em "um pouco de frio", em C2 com 50,6% (QU) e 37,1% (QS) e em C3 com 42,0% (QU) e 49,5% (QS).

Para o conforto térmico, no C1 as porcentagens concentraram-se em "confortável", com 76,7% e 84,4% nos períodos QS e QU. Enquanto que, nos C2 e C3, a concentração foi em "um pouco desconfortável", com 54,4% e 49,5% e 36,7% e 42,5% nos mesmos cenários e períodos.

A sensibilidade térmica, em todos os cenários, concentrou-se em "muito calor", sendo que no C1, os valores foram de 46,7% e 51,5%, no C2 de 50,0% e 53,8% e no C3, de 52,2% e 51,6% para os períodos QU e QS seguidamente. Sendo assim, nota-se que mesmo obtendo respostas concentradas em "muito calor", o C1 ainda deteve as menores porcentagens, enfatizando a atuação positiva da arborização no microclima.

Diante desse contexto, e a partir dos resultados tanto da T_{rm} quanto dos questionários, o UTCI foi verificado e é exibido na Figura 8.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

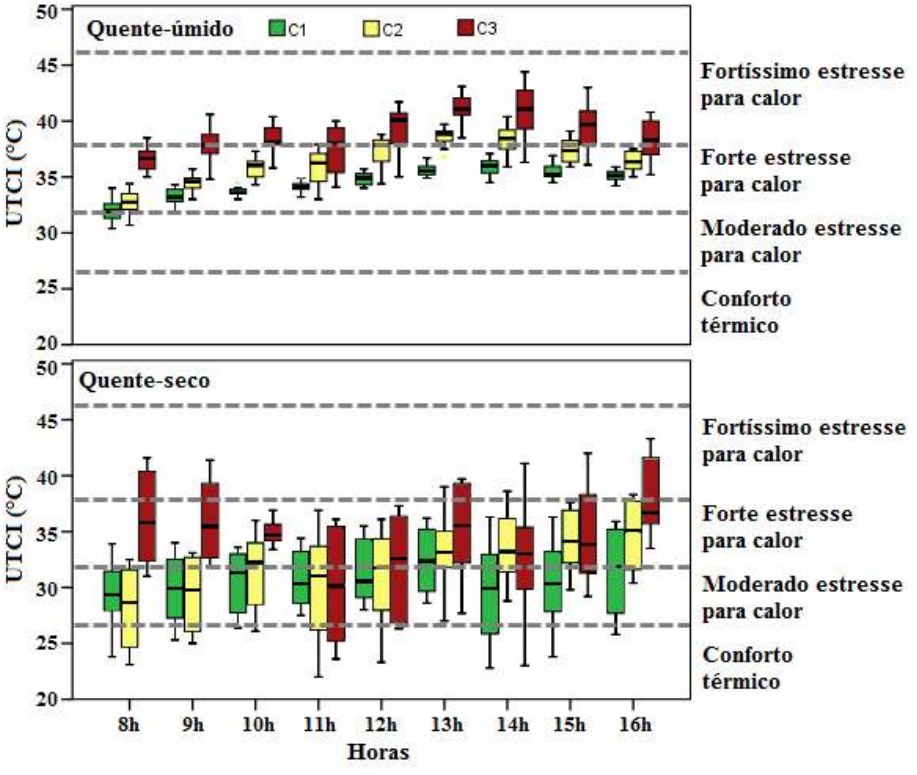

Figura 8 - Resultados do UTCI obtidos para os cenários 1, 2 e 3 (C1, C2 e C3)

De modo geral, observa-se que o UTCI variou somente entre as faixas de "conforto térmico" e "fortíssimo estresse para o calor". Logo, no C1, durante QU variou de "moderado estresse para o calor" (32,0°C) a "forte estresse para o calor" (37,5°C). No período QS variou de "conforto térmico" (22,6°C) a "forte estresse para o calor" (31,8°C).

O cenário C2, durante QU, obteve variação de "moderado estresse para o calor" (31,7°C) a "fortíssimo estresse para o calor" (40,8°C) e em QS variou de "conforto térmico" (24,0°C) a "fortíssimo estresse para o calor" (39,1°C).

No cenário C3, o UTCI variou no período QU de "forte estresse para o calor" (32,5°C) a "fortíssimo estresse para o calor" (44,9°C). Já durante QS variando de "conforto térmico" (24,9°C) a "fortíssimo estresse para o calor" (43,9°C).

Todavia, embora os resultados em relação à faixa de conforto térmico não tenham sido tão promissores, verifica-se que a variação do UTCI no C1 foi menor quando comparado aos outros cenários, com 5,5°C no período QU e 9,2°C no período QS, seguido de 8,9°C e 15,1°C para C2 e de 12,4°C e 18,3°C para o C3, considerando os mesmos períodos.

Callejas et al. (2012) mapearam a sensação térmica de pedestres em Cuiabá e também utilizaram o índice UTCI. Como resultados, notaram que raramente a faixa de "conforto térmico" foi alcançada durante o ano pesquisado, ocorrendo exceções nos meses mais frios do ano (maio, junho, julho e agosto) e apenas durante o período noturno. Houve prevalência das categorias "moderado estresse para o calor" (49%), e "forte estresse ao calor" (32%).

Assim, salienta-se que com a presente pesquisa e considerando a porção urbana de Cuiabá, o UTCI inicia a classificação a partir do parâmetro conforto térmico (22,6°C) até fortíssimo estresse por calor (44,9°C).

4. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou os resultados de um estudo de conforto térmico, desenvolvido na cidade de Cuiabá-MT, durante os períodos quente-seco e quente-úmido, utilizando dados micrometeorológicos coletados e questionários aplicados simultaneamente, permitindo bases para algumas inferências.

Ao analisar as variáveis T_a, UR, V e T_{rm} coletadas nos diferentes cenários, verificou-se que os valores com maiores diferenças ocorreram entre o local arborizado e o local exposto ao sol. Dessa maneira, fica evidente a importância do sombreamento arbóreo em meio urbano, até mesmo frente aos meios artificiais de sombreamento.

Os resultados mais adequados de conforto térmico foram encontrados para o cenário com sombreamento arbóreo e as maiores diferenças de conforto térmico foram verificadas entre este cenário e o cenário totalmente exposto ao sol. Isso pode ser explicado devido aos processos de atenuação da radiação solar direta nas superfícies e da manutenção da temperatura do ar através do processo de evapotranspiração do maciço arbóreo.

O estudo permitiu inferir também que, em Cuiabá-MT, as condições bioclimáticas no ambiente ao ar livre e no período da tarde são desfavoráveis, reforçando a necessidade da utilização de estratégias para mitigar os efeitos causados pelo clima local. Neste contexto, a escolha por aumentar o plantio de árvores e com isso o sombreamento arbóreo, pode contribuir de forma positiva na melhora da sensação térmica dos indivíduos.

O UTCI para a cidade de Cuiabá foi estimado, calibrado e classificado, variando de conforto térmico a partir de 22,6°C até fortíssimo estresse por calor, com 44,9°C, não sendo observado estresse por frio. Entretanto, cabe ressaltar que os resultados encontrados não se destinam a ser transferidos para outros climas e locais, pois o conforto térmico não é apenas uma questão de fisiologia. Por essa razão, muitas pesquisas precisam ser realizadas para que no futuro haja uma comparação abrangente entre os dados, de modo que se possa unifica-los.

REFERÊNCIAS

ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. Landscape and Urban Planning, v. 138, p. 99-109, 2015.

BŁAŻEJCZYK, K.; NILSSON, H.; HOLMÉR, I. Solar Heat Load on Man - Review of Different Methods of Estimation. International Journal of Biometeorology, v. 37, p. 125-132, 1993.

BRÖDE, P.; FIALA, D.; BLAZEJCZYK, K.; HOLMÉR, I.; JENDRITZKY, G.; KAMPMANN, B.; TINZ, B.; HAVENITH, G. Deriving the operational procedure for

the Universal Thermal Climate Index (UTCI). International Journal of Biometeorology, v. 56, p. 481-494, 2011.

CALLEJAS, I. J.; CAMPOS, A. C.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, M. C. Índices arbóreos e suas relações com o microclima urbano. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 14, 2012, Juiz de Fora. Anais eletrônicos... Juiz de Fora: UFJF, 2012.

CAMPELO, JR. J. H.; CASEIRO, F. T.; FILHO, N. P.; BELLO, G. A. C.; MAITELLI, G. T.; ZANPARONI, C. A. G. P. Caracterização macroclimática de Cuiabá. In. Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente, 7, 1991, Londrina, Anais... Londrina, v.1.

CHENG, V.; NG, E.; CHAN, C.; GIVONI, B. Outdoor thermal comfort study in a subtropical climate: a longitudinal study based in Hong Kong. International Journal of Biometeorology, v. 56, p. 43–56, 2011.

CLIMATE DATA. Mato Grosso Clima. 2021. Disponível em: https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/mato-grosso-168/. Acesso em: 08 de mar. de 2021.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá. Evolução Urbana de Cuiabá. IPDU – Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. Cuiabá, 2010.

FRANÇA, M. S. Avaliação do microclima urbano para a cidade de Sorriso/MT: estudo de caso. 2017. 91 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

GLANTZ, S.A. Princípios de Bioestatística. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

HAVENITH, G.; FIALA, D. Thermal Indices and Thermophysiological Modeling for Heat Stress. Comprehensive Physiology, v. 6, n. 1, p. 255-302, 2015.

HIRASHIMA, S. Q. S. Percepção sonora e térmica e avaliação de conforto em espaços urbanos abertos do município de Belo Horizonte – MG, Brasil. 2014. 248 f. Tese (Doutorado em arquitetura e urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

HIRASHIMA, S. Q. S.; ASSIS, E. S. Confecção e aferição de termômetro de globo e abrigo meteorológico para medição de variáveis climáticas em ambientes externos. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC, 11, Búzios, RJ, Anais... 2011.

HOBO®. U12 Temp/RH/Light/ External Data Logger. 2021. Disponível em: https://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/13128-C%20U12012%20Manual.pdf. Acesso em: 08 de mar. de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Cidades e Estados. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mt/cuiaba.html>. Acesso em: 01 mai. De 2020.

IBM SPSS versão 16.0. [S. l.]: INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION, 2019. 1 CD.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAS - INPE. 2018. Estação de Cuiabá - Climatologia Local. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/estacoes/cuiaba_clima.html>. Acesso em: 02 de mai. de 2020.

INTERNATTIONAL ORGANIZATION DOR STANDARDIZATION. ISO 7726: Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities. Genève: ISO, 1998.

INTERNATTIONAL ORGANIZATION DOR STANDARDIZATION. ISO 9920: Ergonomics of thermal environments – Estimation of the thermal insulation and water vapor resistance of a clothing ensemble. Genève: ISO, 2007.

INTERNATTIONAL ORGANIZATION DOR STANDARDIZATION. ISO 7730: Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Genève: ISO, 2005.

JUSTI, A. C. A.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; SANTOS, F. M. M.; DE MUSIS, C. R.; NOGUEIRA, J. S. Impacto da morfologia de parque urbano no microclima e no conforto térmico de Cuiabá-Brasil. Revista Brasileira de Climatologia, v. 24, p. 20-38, 2018.

KOTHARKAR, R.; RAMESH, A.; BAGADE, A. Urban Heat Island studies in South Asia: A critical review. Urban Climate, v. 24, p. 1011-1026, 2018.

KRÜGER, E. L. Efeitos da ilha de calor nos níveis de conforto em ambientes externos e internos para as condições climáticas de Curitiba. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 3, p. 459-467, 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura, São Paulo: ProLivros, 2004.

LEVEMORE, G.; PARKINSON, J.; KWANHO, L.; LAYCOCK, P.; LINDLEY, S. The increasing trend of the urban heat island intensity. Urban Climate, v. 24, p. 360-368, jun. 2018.

LIMA, L. C. Conforto térmico em espaços abertos: Estudo de caso em um Parque Urbano na cidade de João Pessoa-PB. 2016. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

LIMA, L. C.; LEDER, S. M.; SILVA, L. B.; SOUZA, E. L. Conforto térmico em espaços abertos no clima quente e úmido: estudo de caso em um parque urbano no Bioma Mata Atlântica, Ambiente Construído, v. 19, n. 2, p. 109–127, 2019.

MAITELLI, G. T. Interações Atmosfera-Superfície. In: Moreno G.; Higa T. C. S. organizadores. Geografia de Mato Grosso: território, sociedade e ambiente. Entrelinhas: Cuiabá, p. 1-296, 2005.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - application of the RayMan model. International Journal of Biometeorology, v. 51, p. 323-334, 2007.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modeling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. International Journal of Biometeorology, v. 54, p. 131-139, 2010

MIRANDA, S. A. Sombreamento arbóreo em superfícies pavimentadas de área urbana tropical. 2018. 91 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

NINCE, P. C. C. Vegetação e revestimentos urbanos: implicações na sensação térmica dos usuários do campus da UFMT em Cuiabá-MT. 2013. 108 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island (Symons memorial lecture, 20 May 1980). Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 108, n. 455, p. 1-24, 1982.

PARK, S.; TULLER, S. E.; JO, M. Application of Universal Thermal Climate Index (UTCI) for microclimatic analysis in urban thermal environments. Landscape and Urban Planning, v. 125, p. 146-155, 2014.

PAULA, D. C. J. Análise termohigrométrica pós intervenções urbana em Cuiabá-MT. 2017. 90 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

QUERINO, J. K. A. S. Caracterização termo higrométrica e de conforto térmico em porto velho no período de transição seco-chuvoso. 2017. 58 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

RIBEIRO, K. F. A.; JUSTI, A. C. A.; SANTOS, F. M. M.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; MUSIS, C. R. Análise dos índices de conforto térmico PMV e PET em diferentes tipos de coberturas em ambiente aberto na cidade de Cuiabá-MT. Revista Brasileira de Climatologia, v. 26 p. 561-578, 2020.

RIBEIRO, K. F. A.; VALIN JR, M. O.; CHEGURY, J. Q. B. M.; SANTOS, F. M. M.; RODRIGUES, T. R.; CURADO, L. F. A.; NOGUEIRA, J. S. Efeito do sombreamento arbóreo na temperatura superficial e no fluxo de energia em diferentes coberturas urbanas em Cuiabá-MT. Sociedade; Natureza, v. 30, p. 183-204, 2018.

RIBEIRO, K. F. A.; VALIN JR, M. O.; SANTOS, F. M. M.; MUSIS, C. R.; ALMEIDA JR, E. S.; MARQUES, J. B.; NOGUEIRA, M. C. J. A. Sensação térmica em diferentes cenários urbanos de Cuiabá-MT. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v. 14, n. 3, p. 50-67, 2019.

ROCHA, A. D. da. Espectro cruzado e coerência wavelet: um estudo de variáveis micrometeorológicas em frações urbanas na cidade de Cuiabá, MT. 2018. 142 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

RODRIGUES, A. P. M.; PASQUALETTO, A.; GARÇÃO, A. L. O. A influência dos Parques Urbanos no Microclima de Goiânia. Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos, v. 3, n. 1, p. 25-44, 2017.

SANTOS, F. M. de M. Influência da ocupação do solo na variação termo-higrométrica na cidade de Cuiabá-MT. 2012. 102 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, p. 1-88, 2012.

SHINZATO, P.; DUARTE, D. H. S. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. Ambiente Construído, v. 18, n. 2, p.197-215, 2018.

SILVA, B. A.; XAVIER, T. C.; ALVAREZ, C. E. A influência da vegetação no conforto térmico para a condição microclimática de Vitória (ES). Cidades Verdes, v. 03, n. 08, p. 01-15, 2015.

SOUZA, N. S. Análise da relação da radiação solar na formação de ilhas de calor em diferentes configurações urbanas em Cuiabá – MT. 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

TEOBALDO NETO, A.; AMORIM, M. Ilha de Calor Urbana e desconforto térmico: uma análise episódica em Cuiabá/MT. Os desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, p. 1492-1506, 2017.