Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

AVALIAÇÃO MICROCLIMÁTICA, TERMO HIGROMÉTRICA E DAS ILHAS DE CALOR NA CIDADE DE CUIABÁ-MT/BRASIL

Microclimatic evaluation, thermo hygrometric and of heat islands in the city of Cuiabá-MT/Brazil

Evaluación microclimática, termo higrométrico e islas de calor en la ciudad de Cuiabá-MT/ Brasil

Juliana Queiroz Borges de Magalhães Chegury
Faculdade de Engenharia – Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)
julianaqbchegury@gmail.com

Ana Clara Alves Justi
Programa de Pós Graduação em Física Ambiental - Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)
clarasevla@gmail.com

Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira
Programa de Pós Graduação em Física Ambiental - Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)
mcjanp@gmail.com

Resumo: A crescente urbanização dos últimos tempos, evidencia a importância da realização de trabalhos referentes ao clima urbano. Assim, o objetivo foi avaliar as condições microclimáticas, termo higrométricas e de ilhas de calor em Cuiabá-MT. Durante novembro de 2017 a outubro de 2018, utilizou-se os dados das estações do INMET e do Aeroporto Internacional Marechal Rondon, além dos dados termo higrométricos que foram coletados por transecto móvel, através de um sensor conectado na lateral de um veículo automotor. Com o início sempre às 20h00 local, o transecto móvel passou por dezesseis pontos, sendo finalizado em um prazo de 1h00. A caracterização microclimática representou o clima característico de Cuiabá, com temperatura do ar variando de 22,86 a 27,89°C em junho e setembro, respectivamente e, a umidade relativa do ar variando de 49,23 a 79,06% em setembro e fevereiro, respectivamente. A precipitação máxima ocorreu em fevereiro, com 321,96 mm, a direção dos ventos foi predominantemente norte e noroeste e a velocidade dos ventos não ultrapassou 3,61 $m.s^{-1}$. A caracterização termo higrométrica mostrou-se adequada e foi validada, demonstrando que a forma de ocupação do solo urbano é um fator determinante na modificação do comportamento termo higrométrico. Quanto às ilhas de calor, no período quente-úmido a magnitude variou de fraca a moderada, com diferença de até 2,66°C e no período quente-seco variou de fraca a forte, com diferença de até 4,38°C. Considera-se que o presente estudo possa contribuir para o meio cientifico e para os gestores públicos, permitindo um melhor entendimento das variações microclimáticas e termo higrométricas de Cuiabá, principalmente nas áreas de expansão,

possibilitando a avaliação da influência das anomalias termo higrométricas existentes nas áreas urbanas consolidadas.
Palavras-chave: Altas temperaturas. Aquecimento urbano. Superficies impermeáveis.

Abstract: The increasing urbanization of recent times highlights the importance of carrying out work related to the urban climate. Thus, the objective was to evaluate the microclimatic, thermo hygrometric and heat island conditions in Cuiabá-MT. During November 2017 to October 2018, data from INMET stations and Marechal Rondon International Airport were used, in addition to thermohygrometric data that were collected by mobile transect, through a sensor connected to the side of a motor vehicle. With the beginning alwaysat 20:00 local time, the mobile transect passed through sixteen points, being completed within 1:00 am. The microclimatic characterization represented the characteristic climate of Cuiabá, with air temperature ranging from 22.86 to 27.89°C in June and September, respectively, and the relative humidity ranging from 49.23 to 79.06% in September and February, respectively. The maximum precipitation occurred in February, with 321.96 mm, the wind direction was predominantly north and northwest and the wind speed did not exceed 3.61 $m.s^{-1}$. The thermo hygrometric characterization proved to be adequate and was validated, demonstrating that the form of urban land occupation is a determining factor in modifying the thermo hygrometric behavior. As for the heat islands, in the hot-humid period the magnitude ranged from weak to moderate, with a difference of up to 2.66°C, and in the hot-dry period it ranged from weak to strong, with a difference of up to 4.38°C. It is considered that this study can contribute to the scientific community and public managers, allowing a better understanding of microclimatic and term hygrometric variations in Cuiabá, especially in the expansion areas, enabling the evaluation of the influence of thermo hygrometric anomalies existing in consolidated urban areas.
Keywords: High temperatures. Heating urban. Impermeable surfaces.

Resumen: La creciente urbanización de los últimos tiempos pone de relieve la importancia de realizar trabajos relacionados con el clima urbano. Así, el objetivo fue evaluar las condiciones microclimáticas, termohigrométricas y de isla de calor en Cuiabá-MT. Durante noviembre de 2017 a octubre de 2018, se utilizaron datos de las estaciones INMET y del Aeropuerto Internacional Marechal Rondon, además de datos termohigrométricos que fueron recolectados por transecto móvil, a través de un sensor conectado al costado de un vehículo de motor. Con el principio siempre comenzando a las 20:00 hora local, el transecto móvil pasó por dieciséis puntos, finalizándose dentro de la 1:00 am. La caracterización microclimática representó el clima característico de Cuiabá, con una temperatura del aire que varió de 22,86 a 27,89 ° C en junio y septiembre, respectivamente, y la humedad relativa que varió de 49,23 a 79,06% en septiembre y febrero, respectivamente. La precipitación máxima ocurrió en febrero, con 321.96 mm, la dirección del viento fue predominantemente norte y noroeste y la velocidad del viento no pasó de 3.61 $m.s^{-1}$. La caracterización termohigrométrica resultó adecuada y fue validada, demostrando que la forma de ocupación del suelo urbano es un factor determinante en la modificación del comportamiento termohigrométrico. En cuanto a las islas de calor, en el período caliente-húmedo la magnitud varió de débil a moderada, con una diferencia de hasta 2.66 ° C, y en el período caliente-seco varió de débil a fuerte, con una diferencia de hasta 4,38 ° C. Se considera que este estudio puede contribuir a la comunidad científica y gestores públicos, permitiendo una mejor comprensión de las variaciones microclimáticas e higrométricas de término en Cuiabá, especialmente en las áreas de expansión, permitiendo evaluar la influencia de anomalías termohigrométricas existentes en las áreas urbanas consolidadas.
Palabras clave: Altas temperaturas. Calefacción urbana. Superficies impermeables.

Submetido em: 03/05/2021
Aceito para publicação em: 01/02/2022
Publicado em: 16/02/2022

1. INTRODUÇÃO

Em 2017 o planeta Terra possuía 7,6 bilhões de habitantes e segundo os dados da Organização Mundial das Nações Unidas (2019), até 2050 esse número poderá alcançar a marca de 9,7 bilhões, com 68 % da população mundial vivendo em meio urbano.

Nessa perspectiva, a crescente e inadequada expansão urbana constatada nos últimos anos, especialmente nos países subdesenvolvidos, é um problema de ordem global, uma vez que a ausência de padrões de planejamento promove a degradação do ambiente e a modificação das condições climáticas (CHEGURY, 2019). Isso porque, o crescimento populacional das cidades e o aumento do uso de materiais construtivos, propiciam a elevação da temperatura do ar e a diminuição da umidade relativa do ar, desencadeando, por exemplo, o fenômeno conhecido como Ilha de Calor Urbana (*Urban Heat Island* -UHI) (CARPIO *et al*., 2020).

A UHI é a alteração do equilíbrio térmico de áreas urbanas, devido às modificações na transferência de calor entre a superfície do solo e a atmosfera, em termos de armazenamento de calor, partição entre fluxos de calor sensível e latente, atrito e razão entre as emissões naturais e antropogênicas (VAILSHERY; JAGANMOHAN e NEGENDRA, 2013).

Em outras palavras, a temperatura do ar é significativamente mais elevada nas cidades do que nas áreas rurais, devido à absorção e acúmulo de calor nos pavimentos. Logo, este efeito é acentuado, pois, em meios urbanos, as superfícies inicialmente cobertas por vegetação, são substituídas por infraestruturas como ruas, casas e edifícios. Portanto, superfícies que antes eram permeáveis tornam-se impermeáveis e relativamente secas, favorecendo o aumento da temperatura do ar (CARPIO *et al.,* 2020).

Consequentemente, a intensidade da UHI pode atingir uma diferença de temperatura do ar de até 12 °C, dependendo das características e das condições climáticas locais, impactando diretamente na qualidade de vida dos cidadãos em relação à intensificação das concentrações de poluentes atmosféricos e da piora das condições de conforto térmico, além do significativo consumo de energia para o resfriamento das edificações (OKE, 1973; SANTAMOURIS, 2015; SANTAMOURIS *et al*., 2015; SANTAMOURIS, 2016; SANTAMOURIS, 2018; SANTAMOURIS, 2020; ULPIANI, 2021).

Diante desse contexto, relevantes estudos foram desenvolvidos, pois existe o interesse científico de compreender as peculiaridades de tal fenômeno, registrar a sua magnitude e amenizar os seus efeitos (KOTHARKAR; RAMESH e BAGADE, 2018; GHADBAN *et al*., 2020; LIU *et al*., 2020; ZAK *et al.,* 2020; VIDE e GARCIA, 2020). Assim, o superaquecimento urbano já foi estudado em mais de quatrocentas grandes cidades do mundo (SANTAMOURIS, 2020).

Entretanto a UHI na cidade de Cuiabá ainda é pouco documentada, mesmo sendo conhecida mundialmente como a capital brasileira mais quente do país. Fato que pode ser atribuído às suas particularidades geomorfológicas, pouca ventilação, baixa altitude e contínua expansão urbana, verificada a partir das obras da Copa do Mundo de 2014 (PAULA, 2017).

Dessa forma, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar as condições microclimáticas, termo higrométricas e das ilhas de calor na cidade de Cuiabá-MT/Brasil, visando a construção de um banco de dados, que permita aos gestores citadinos, a utilização de informações eficientes e adequadas, para a tomada de decisões.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

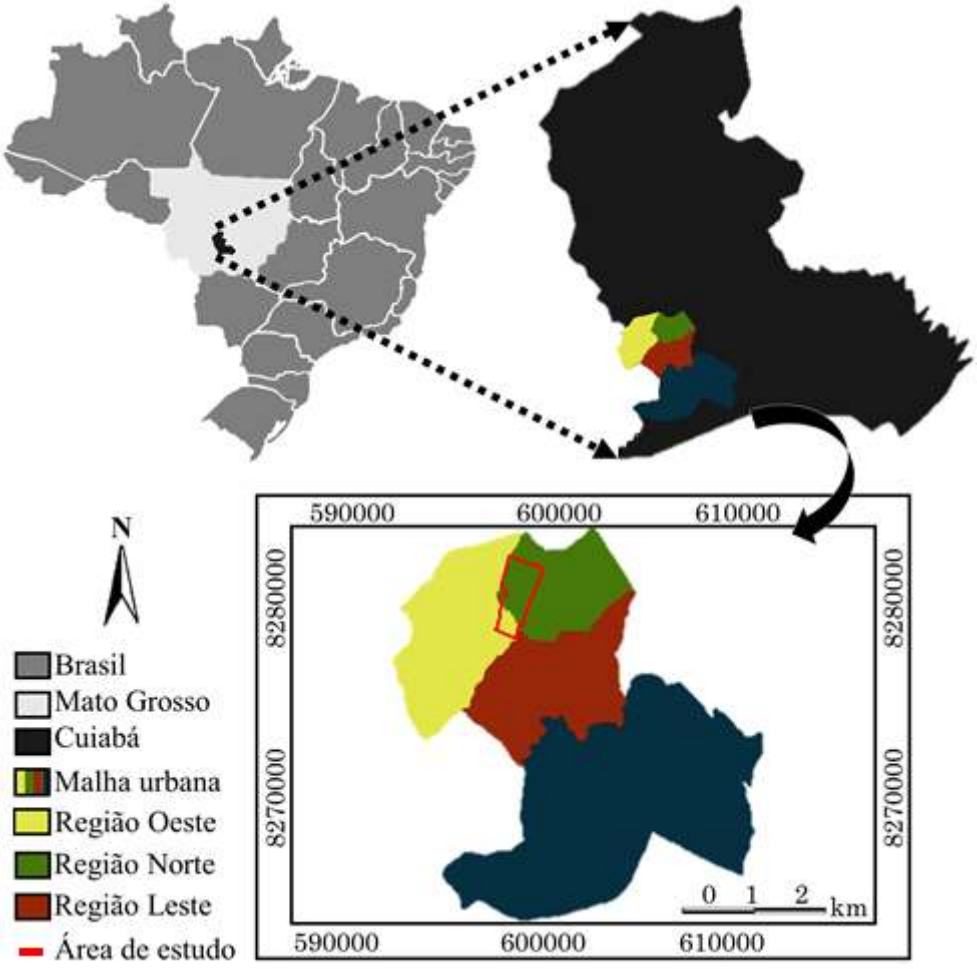
Cuiabá, está situada na região centro-oeste brasileira, a 15°10’ e 15° 50’ de latitude sul e 50°50 e 50°10’ de longitude oeste, com altitude de aproximadamente 200 metros acima do nível do mar. É conhecida como a cidade mais quente do Brasil e de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o seu clima é tropical continental semiúmido, do tipo Aw, com dois períodos típicos, representados por chuvas na primavera-verão e por estiagem no outono-inverno (CUIABÁ, 2010; IBGE, 2018).

Sendo assim, a temperatura média máxima anual do ar em Cuiabá alterna entre 31 a 34 °C e a média mínima anual, alterna entre 18 a 21 °C. Da mesma maneira que, a umidade relativa do ar apresenta uma média anual de 70% no período chuvoso, atingindo valores de 12% no período de estiagem (ROCHA, 2018). Já em relação à direção do vento, é predominante norte e noroeste durante a maior parte do ano, e sul no outono-inverno.

Enquanto que, o total anual de precipitação pluviométrica é em torno de 1.350 milímetros (mm) (INPE, 2020).

Para a presente pesquisa, escolheu-se uma área localizada nas regiões administrativas Oeste e Norte de Cuiabá. Estas regiões atuam como a principal rota da capital ao noroeste e norte do estado de Mato Grosso, interligando às cidades de Chapada dos Guimarães, Rosário do Oeste e Nobres, sendo estas frequentemente visitadas por turistas (CHEGURY, 2019), (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de estudo em relação à malha urbana de Cuiabá e ao Brasil.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2021).

No mais, trata-se de um espaço com a presença de áreas verdes, remanescentes de matas ciliares, maciços de vegetação, fundos de vale, espaços urbanos sem ocupação e conta com a existência de dois importantes parques urbanos, nomeados de Parque das Águas e Parque Massairo Okamura (CHEGURY,2019).

2.2. Procedimento experimental

Considerando o intervalo de 2017/2018, fez-se a caracterização das variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, velocidade do vento e direção do vento, por meio da estação meteorológica oficial que pertence ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na latitude de 15°33'33.5''S, longitude de 56°03’46.6’’O e altitude de 242 metros.

A coleta dos dados termo higrométricos por transectos móveis, ocorreu de acordo com as recomendações estabelecidas por Oke (1982), em dias com condições atmosféricas ideais, ou seja, céu limpo e ventos fracos, contabilizando os meses de novembro de 2017 a outubro de 2018. Dessa forma, exatamente por depender das condições ambientais externas, foram amostrados somente vinte e cinco dias ao total, mas que abrangeram todas as estações do ano e seus respectivos períodos sazonais, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Dias de medições em relação aos meses, estações e períodos sazonais

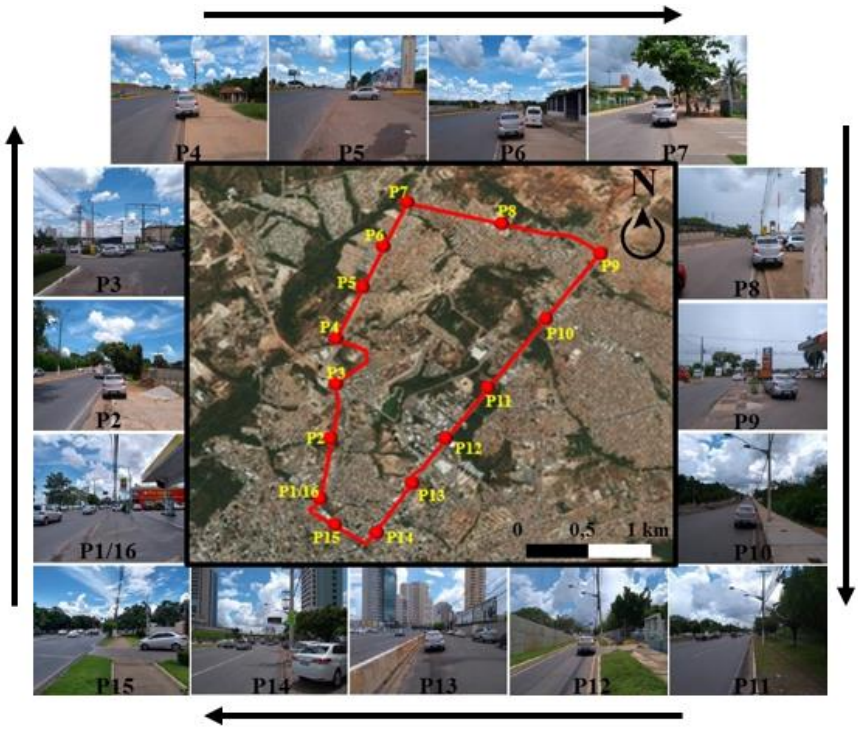
Dias	Meses	Estações	Períodos
7-12-24	Novembro/2017	Primavera	Quente-úmido
15-16	Dezembro/2017	Primavera	Quente-úmido
20	Janeiro/2018	Verão	Quente-úmido
12	Março/2018	Verão	Quente-úmido
8-24	Abril/2018	Outono	Quente-úmido
2-10	Maio/2018	Outono	Quente-seco
11	Junho/2018	Outono	Quente-seco
26-30		Inverno	Quente-seco
4-13-19	Julho/2018	Inverno	Quente-seco
10-27-31	Agosto/2018	Inverno	Quente-seco
5-12	Setembro/2018	Inverno	Quente-seco
25		Primavera	Quente-úmido
14-26	Outubro/2018	Primavera	Quente-úmido

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021).

Não houve coleta em fevereiro, uma vez que foram registradas precipitações praticamente em todos os dias do mês. Tal característica é comum no período quente-úmido e foi agravada pelo fenômeno La Niña de intensidade fraca, constatado no decorrer da pesquisa (INMET, 2020).

Logo, durante os dias citados, optou-se pela utilização da metodologia do transecto móvel, com o trajeto preestabelecido anteriormente e composto por 16 pontos com características distintas entre si, totalizando 15,6 km de extensão, (Figura 2).

Figura 2 - Trajeto do transecto móvel e seus respectivos 16 pontos.



Fonte: Adaptada de Google Earth (2021).

A escolha dos pontos baseou-se na preconização de áreas urbanas pertencentes a zonas de expansão e que não tinham sido estudadas anteriormente. Para não ultrapassar o prazo de 1h00, utilizou-se um veículo, que transitou durante todo o trajeto com uma velocidade máxima de 40 km h^{-1}, iniciando-se sempre às 20h00 local de Cuiabá (00h00 UTC), conforme recomendação da Organização Mundial de Meteorologia (OMM).

Começando todas as vezes no ponto 1 e em sentido horário, as medições termo higrométricas foram feitas com um sensor termo higrômetro do tipo *datalogger* marca Onset, modelo U12-013, posicionado na lateral do veículo, a aproximadamente 2 m do solo e protegido por um abrigo alternativo de PVC.

A precisão do sensor foi de ± 2,5% operando com intervalo de medições programável entre 1 segundo a 18 horas para a variável umidade relativa do ar, e de ± 0,35 °C e resolução de 0,03% para a variável temperatura do ar. E, com o intuito de estabilizar o sensor, em cada

ponto fez-se uma parada de aproximadamente 2 minutos. Além disso, usufruiu-se de um GPS/MAP da marca *Garmin*, modelo *Etrex Legend*, para manter as medições precisamente nos mesmos pontos, com frequência de amostragem de 16 horas ininterruptas.

2.3. Análise de dados

Mapas temáticos foram elaborados, com o objetivo de analisar a cobertura da terra no entorno de cada ponto do transecto móvel, estabelecendo um raio de influência de 200 metros (OKE, 2004). Logo, definiu-se seis classes de cobertura (água, área edificada, asfalto, solo exposto, vegetação arbórea e vegetação rasteira) e utilizou-se o programa *ArcGIS* 10.3, licenciado pelo Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), no Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, realizando uma classificação supervisionada pelo método da máxima verossimilhança.

A validação entre os dados oficiais da estação do INMET e os dados termo higrométricos do transecto móvel, ocorreu por meio do teste estatístico qui-quadrado, que permite inferir se a frequência das variáveis independentes mensuradas desviam-se ou não da frequência das variáveis independentes referenciais (CORREA; QUEIROZ e TREVISAN, 2020). Logo, a partir dos graus de liberdade (GL) da análise, determinou-se um valor de prova (p-valor), que permitiu concluir se existiu diferença estatística significativa, quando o mesmo foi menor que 0,05 e se não existiu diferença estatística significativa, quando o mesmo foi maior que 0,05.

Para representar os dados termo higrométricos do transeto móvel, foram elaborados mapas da área de estudo, utilizando a técnica geoestatística denominada de Krigagem Ordinária.

Assim, os semivariogramas traz informações importantes como o alcance (A0) que explica até onde uma medida pode interferir na outra, o patamar (C0 + C), que indica que a partir desse ponto, não existe dependência espacial entre as amostras e o efeito pepita (C0), que é o componente aleatório do modelo.

Já o coeficiente de determinação (R^2), indica quantos dos pontos experimentais encontram-se na curva do modelo teórico e a soma dos quadrados dos erros (RSS), que determina o ajuste do modelo teórico ao semivariograma experimental (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

Para tal, utilizaram-se os programas GS+ versão 7 (Gamma Design *Software*) e *Surfer* 13 *for Windows* (L3 *Software*). Essa técnica permite uma análise precisa da variabilidade espacial das variáveis mensuradas e possibilita a verificação da presença de ilhas de calor.

Por fim, para avaliar a magnitude das ilhas de calor, utilizou-se dados coletados pela estação oficial do Aeroporto Internacional Marechal Rondon, localizada na latitude de 15° 39' 10''S, longitude de 56° 7' 0''O e altitude de 188 metros. A escolha da mesma baseou-se em suas características rurais (com gabaritos das edificações de até três andares e áreas de conservação e proteção ambiental), que se distinguem de áreas densamente urbanizadas. Assim, considerou-se as médias de temperatura do ar por período sazonal (quente-úmido e quente-seco) e realizou-se a subtração do ponto de menor temperatura do ar, com relação aos valores obtidos em cada um dos demais pontos (FIALHO, 2012).

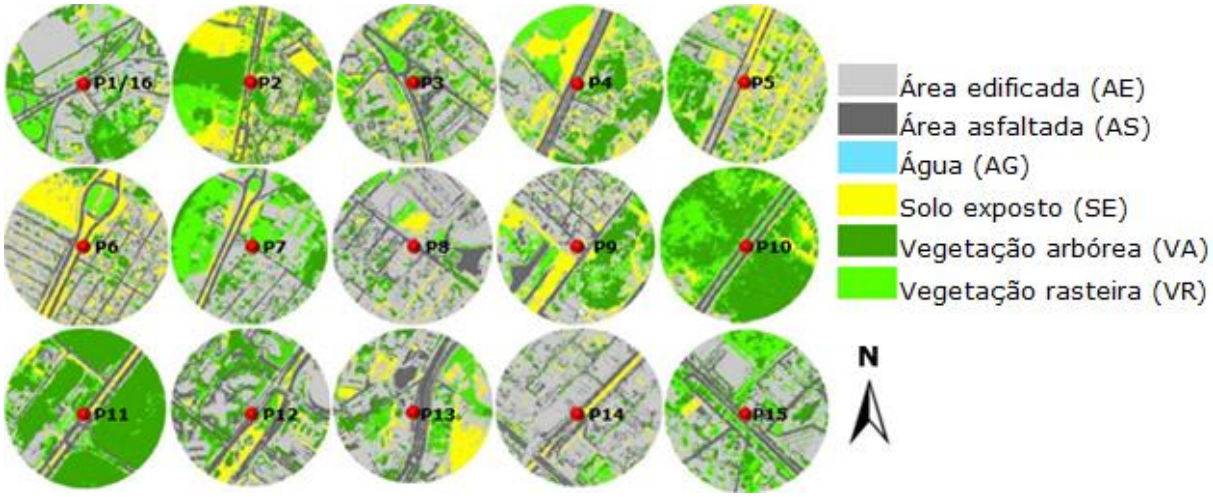
Posteriormente, a magnitude das ilhas de calor foi determinada pela classificação proposta por García (1996), que considera como fraca, quando as diferenças estão entre 0°C e 2°C; moderada, entre 2,1°C e 4°C; forte, entre 4,1°C e 6°C; muito forte, quando as diferenças são maiores que 6,1°C.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise de cobertura da terra

Os mapas de classificação de cobertura da terra para todos os dezesseis pontos do transecto móvel são exibidos na Figura 3.

Figura 3 - Mapas de classificação de cobertura da terra.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2021).

De modo geral, é possível observar que as coberturas do solo são distintas, com pontos que apresentaram maiores áreas de coberturas permeáveis ou maiores áreas de coberturas impermeáveis. Essas diferenças são mais nítidas através dos percentuais expressos na Tabela 2.

Tabela 2 - Percentuais das classes de cobertura da terra para os dezesseis pontos

Pontos	Coberturas (%)							
	AE	AS	Impermeável	AG	SE	VA	VR	Permeável
1/16	51,5	11,0	**62,5**	0,5	4,0	20,0	13,0	**37,5**
2	20,0	14,0	**34,0**	0,0	22,0	25,0	22,0	**69,0**
3	46,0	20,0	**66,0**	0,0	8,0	13,0	13,0	**34,0**
4	36,0	13,0	**49,0**	0,0	17,0	17,0	17,0	**51,0**
5	42,0	8,0	**50,0**	0,0	21,0	15,0	14,0	**50,0**
6	46,0	15,0	**61,0**	0,0	21,0	12,0	6,0	**39,0**
7	42,0	10,0	**52,0**	0,0	4,0	17,0	27,0	**48,0**
8	64,0	20,0	**84,0**	0,0	4,0	7,0	5,0	**16,0**
9	38,0	17,0	**55,0**	0,0	13,0	19,0	13,0	**45,0**
10	6,0	7,0	**13,0**	0,0	6,0	52,0	29,0	**87,0**
11	15,0	11,0	**26,0**	0,0	3,0	62,0	9,0	**74,0**
12	43,0	23,0	**66,0**	0,0	6,0	18,0	10,0	**34,0**
13	47,0	19,0	**66,0**	0,0	12,0	10,0	12,0	**34,0**
14	69,0	19,0	**88,0**	0,0	4,0	5,0	3,0	**12,0**
15	47,0	19,0	**66,0**	0,0	1,0	13,0	20,0	**34,0**

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021).

Os pontos 14 e 8 apresentaram os maiores percentuais de coberturas impermeáveis, com 88,0% e 84,0% e consequentemente os menores percentuais de coberturas permeáveis, com 12,0% e 16,0% respectivamente.

O ponto 14 obteve o maior percentual de área edificada entre os demais, com 69,0%. Está localizado em uma região densamente urbanizada e no cruzamento de duas importantes Avenidas: Historiador Rubens de Mendonça e Miguel Sutil. Da mesma forma, é o que apresentou os menores percentuais de vegetação arbórea e rasteira, com 5,0% e 3,0%, respectivamente. Áreas asfaltadas apareceram com 19,0% e as áreas com solo exposto, apareceram no interior dos lotes e no canteiro central da Avenida, mas com um pequeno percentual de 4,0%.

O ponto 8 está localizado no bairro Jardim Vitória, também em uma área de urbanização densa, com comércios e residências. A área edificada correspondeu a 64,0% da cobertura do solo, uma das maiores porcentagens verificadas entre os pontos. Ruas e pátios pavimentados com asfalto representaram 20,0% e áreas com solo exposto, 4,0%. Com relação à vegetação, a arbórea esteve presente em 7,0% e a rasteira em apenas 5,0% do raio de influência contado a partir do ponto.

Em oposição, os pontos 10 e 11 destacaram-se com os menores percentuais de coberturas impermeáveis, com 13,0% e 26,0% e como resultado disso, os maiores percentuais de coberturas permeáveis, com 87,0% e 74,0% seguidamente.

O ponto 10 está localizado na Avenida Historiador Rubens de Mendonça, sentido a região central de Cuiabá, próximo ao Parque Estadual Massairo Okamura. Apresentou uma considerável área com vegetação arbórea (52,0%) e a vegetação rasteira esteve presente em 29,0% do raio de influência considerado. As áreas edificadas, bem como com solo exposto representaram, cada uma, 6,0% da área. Já as áreas asfaltadas (7,0%) apareceram pontualmente na Avenida.

Assim como o ponto anterior, o ponto 11 obteve uma representativa área com vegetação arbórea (62,0%) e está localizado também nas proximidades do Parque Estadual Massairo Okamura. Nesse ponto, houve uma menor área edificada (15,0%) e as áreas asfaltadas (11,0%), apareceram apenas nos principais acessos. Locais com solo exposto (3,0%) e vegetação rasteira (9,0%) foram observados nos canteiros centrais da Avenida e pontualmente no interior dos lotes.

Os pontos 3, 12, 13, e 15 apresentaram significativos percentuais, com 66,0% de cobertura impermeável e 34,0% de cobertura permeável. Eles possuem em comum o intenso fluxo de veículos, já que no ponto 3 têm-se a rodovia que da acesso à Chapada dos Guimarães e ao Distrito da Guia. O ponto 12 fica próximo ao Shopping Pantanal e ao Tribunal Regional do Trabalho. O ponto 13 fica na Avenida Historiador Rubens de Mendonça que da acesso à todos os demais órgãos administrativos da cidade e o ponto 15, fica localizado na Avenida Miguel Sutil, que passa por praticamente metade da cidade.

Os demais pontos 1/16, 2, 4, 5, 6, 7 e 9, ficaram com os percentuais de coberturas impermeáveis abaixo de 66,%, com valores variando de 34,0% no ponto 2 a 62,5% nos pontos 1/16. Todos estes pontos possuem características semelhantes como, por exemplo, calçamento das residências e pequenos comércios, além também do fluxo de veículos moderado a intenso.

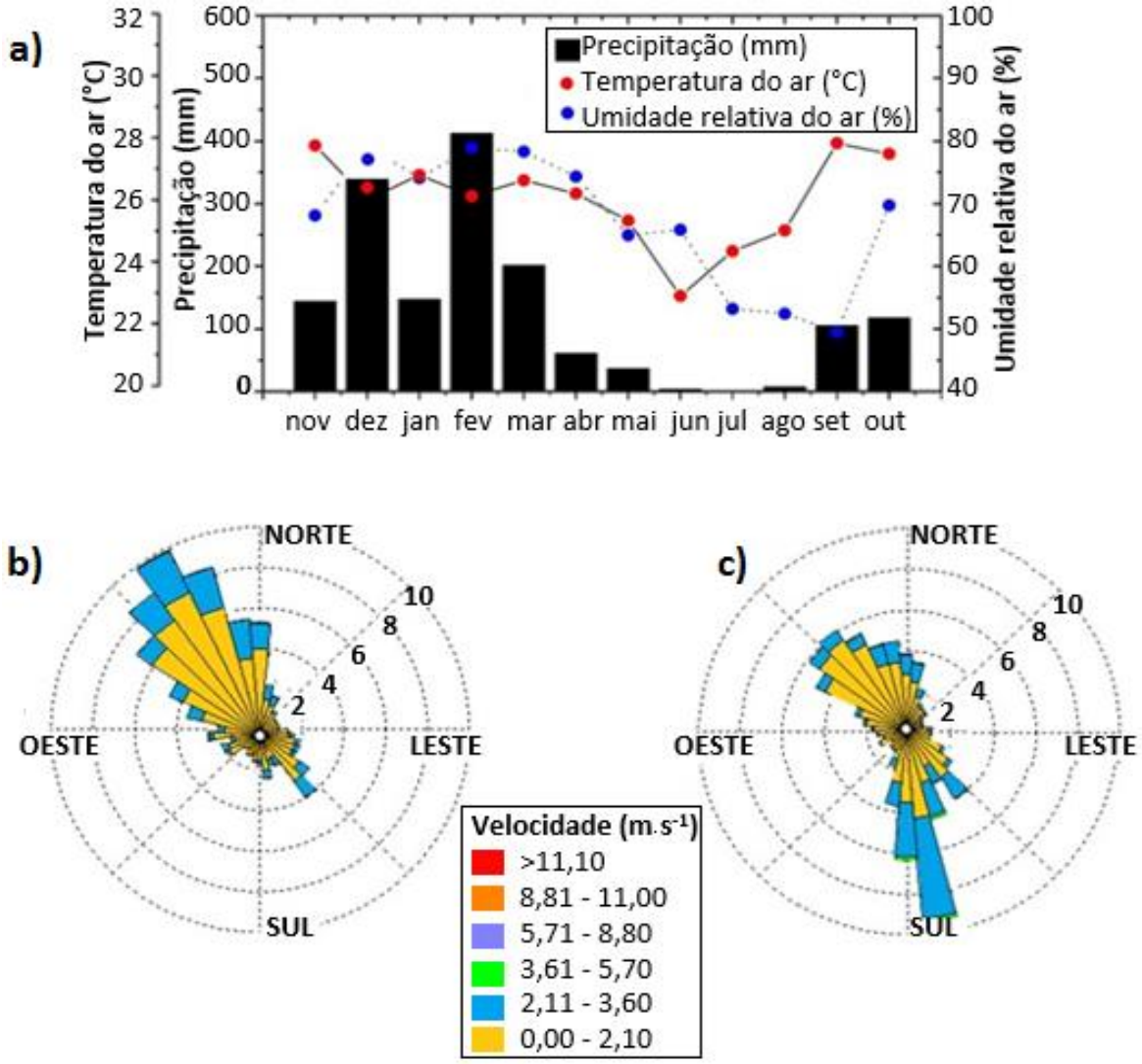
3.2. Avaliação microclimática, termo higrométrica e das ilhas de calor

Os resultados das variáveis microclimáticas aferidas pela estação do INMET, podem ser visualizados na Figura 4.

As maiores médias de temperatura do ar foram verificadas em novembro de 2017, com 27,86 °C e em setembro de 2018, com 27,89 °C. Já os menores valores médios foram observados em junho e julho, com médias de 22,86 °C e 24,48 °C respectivamente.

Em novembro a trajetória aparente do sol passa exatamente na latitude de Cuiabá, fazendo com que os raios solares atinjam a superfície do solo perpendicularmente e, como consequência, menos radiação tende a ser atenuada devido ao menor ângulo Zenith. Em contrapartida, os menores valores aferidos em junho, corroboram com o início do período de inverno no hemisfério sul, como resultado de uma menor radiação no topo da atmosfera (QUERINO *et al*., 2011; MACHADO *et al*., 2015).

Figura 4 - a) Dados microclimáticos b) direção do vento no período quente-úmido, c) direção do vento no período quente-seco.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2021).

A umidade relativa do ar teve as maiores médias em fevereiro, com 79,06% e março com 78,64%, acima do ideal de 60% recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS). As menores médias foram em agosto e setembro de 2018, com 52,39% e 49,23%, respectivamente.

As maiores médias de precipitação foram de dezembro de 2017 e fevereiro de 2018, registrando 321,96 mm e 419,32 mm respectivamente e, as menores médias foram registradas em julho e junho de 2018, com 5,37 mm e 2,51 mm, respectivamente.

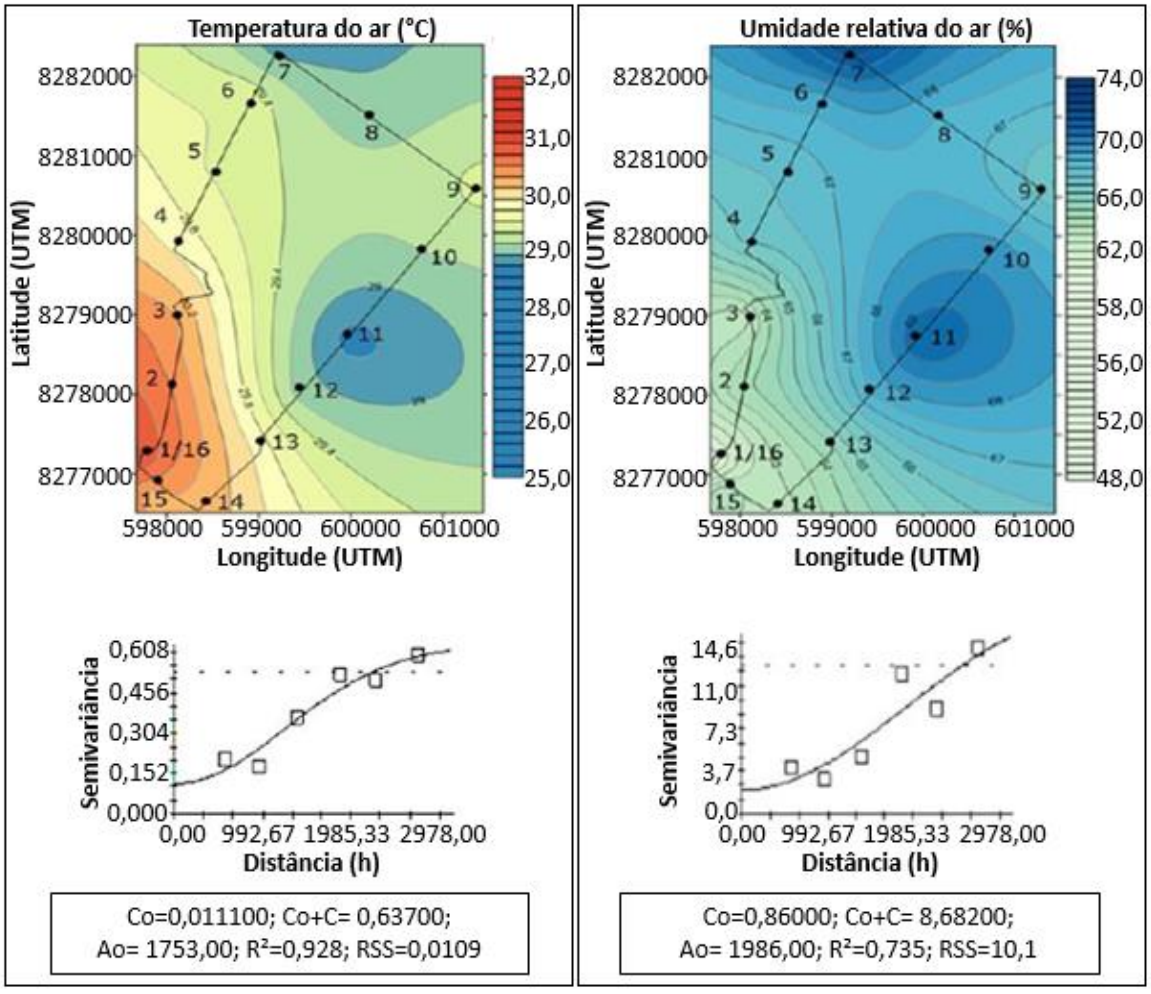
Resultados semelhantes foram encontrados por Machado *et al*. (2015), que correlacionaram as maiores médias de precipitação ao período sazonal de verão em Cuiabá,

representado pela forte convecção de ar e pela formação de nuvens com grande desenvolvimento vertical.

A direção do vento no período quente-úmido foi predominantemente Noroeste e Norte, com velocidade do vento variando de 0 a 2,10 $m.s^{-1}$. No período quente-úmido a direção do vento foi predominantemente Sudeste e Noroeste, com velocidade do vento variando de 0 a 3,61 $m.s^{-1}$. Contudo, trata-se de direções e velocidades diferentes das que já foram encontradas em outro estudo (CAMPELO JÚNIOR *et al*., 1991), sendo justificadas pelo aumento da urbanização, que exerce influência devido aos efeitos de rugosidade.

Em relação aos resultados termo higrométricos do transecto móvel, as maiores temperaturas do ar no período quente-úmido foram amostradas nos pontos 1/16, 2, 3, 15, 14 e 13 sequencialmente, com valores de 31,95°C, 31,02°C, 30,72°C, 30,70°C, 30,64°C e 29,81°C respectivamente, conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5 - Caracterização termo higrométrica no período quente-úmido.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2021).

Esta variação pode ser justificada pela interferência do intenso fluxo de veículos na região, da dispersão de calor pelos materiais construtivos e áreas impermeáveis, que resultaram na formação de ilhas de calor urbana, cujas magnitudes variaram de fraca a moderada, com valores de 1,60 (no ponto 13) a 2,66 (no ponto 1/16), resultados também encontrados por Santos (2012) e Paula (2017) em anos anteriores.

Embora exista uma mata ciliar no ponto 2, a mesma não foi suficientemente capaz de amenizar as altas temperaturas do ar e consequentemente a formação das ilhas de calor do seu entorno. Logo, acredita-se que a baixa altitude (184 m) aliada aos demais fatores já mencionados, possa ter exercido essa influência negativa no microclima local.

Nakata-Osaki *et al*. (2016) explicam que diferentes variações do relevo, da geometria das edificações e a forma de ocupação dos espaços urbanos podem interferir no aumento ou na diminuição de valores de temperatura do ar em relação aos dados medidos nos arredores da cidade, bem como na velocidade e direção dos ventos, na forma de recebimento de radiação por ondas curtas e na liberação de calor através de ondas longas.

Os pontos 11, 7, 8, 10 e 12, sequencialmente, obtiveram as menores temperaturas do ar, com 28,72°C, 28,88°C, 29,00°C, 29,10°C e 29,23°C, respectivamente. As ilhas de calor em todos os pontos foram de magnitudes fracas, com valores que variaram de 0,32 (no ponto 11) a 0,80 (no ponto 12).

Os pontos 11 e 10 foram justamente os que apresentaram menores percentuais de coberturas impermeáveis (26,0% e 13%). Assim, nota-se que para este caso a presença da vegetação exerceu um papel essencial na contenção do rigor térmico e na formação das ilhas de calor, sendo que as temperaturas do ar registradas foram mais amenas, quando comparadas a áreas densamente urbanizadas e com pouca vegetação (FERREIRA; CARRILHO e MENDES, 2015).

O ponto 7, localizado em área de expansão urbana, contabilizou 48,0% de coberturas permeáveis, conseguiu sobressair em termos de arrefecimento da temperatura do ar e das ilhas de calor, visto que em áreas urbanas pertencentes a zonas de expansão, o fluxo de calor armazenado é menor com relação ao do dossel urbano, fazendo com que a temperatura do ar seja mais amena nestas áreas (MACIEL *et al*., 2014).

Em contrapartida, os pontos 8 e 12 apesar de apresentarem um dos maiores percentuais de coberturas impermeáveis (84,0% e 66,0%), teve seus efeitos amenizados na

temperatura do ar e na formação de ilhas de calor, pelas influências dos pontos 7 e 11 respectivamente.

Os pontos 4, 5, 6 e 9 obtiveram valores medianos de temperatura do ar, com 29,90°C, 29,80°C, 29,74°C e 29,60°C respectivamente e com ilhas de calor de magnitudes fraca, variando de 1,10 (no ponto 9) a 1,50 (no ponto 4). Estes resultados também foram condizentes com a análise de cobertura da terra, reafirmando o potencial das áreas impermeáveis em armazenar e dissipar calor.

A umidade relativa do ar no período quente-úmido teve sua variaçãofundamentada na interação entre a temperatura do ar e a temperatura superficial do meio circundante, além do uso e ocupação do solo, da presença ou ausência de áreas verdes e corpos hídricos e do regime de ventos (LIU *et al*., 2018).

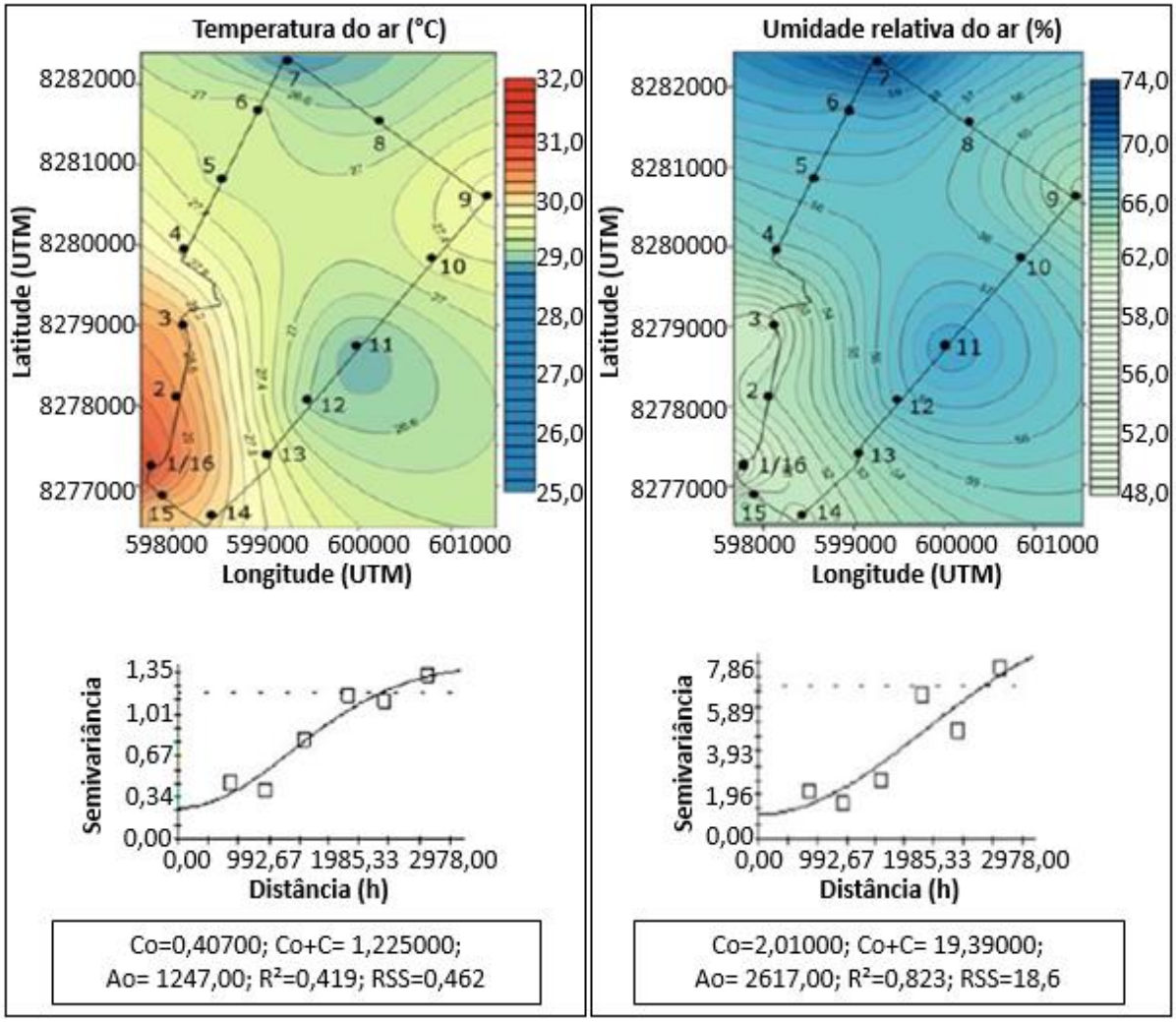
Os pontos 11, 7, 8, 10 e 12 apresentaram os maiores valores, com 70,63%, 70,59%, 68,01%, 67,74% e 67,56%, correlacionados ao afastamento das regiões com ocupação do solo mais densa e da proximidade das regiões com presença de vegetação, que proporcionaram um arrefecimento da temperatura do ar e um aumento da umidade relativa do ar (ALVES; BIUDES, 2012).

Os menores valores foram constatados nos pontos 1/16, 2, 3, 15, 14 e 13, com 60,44%, 62,64%, 63,38%, 63,39%, 63,63% e 64,35% respectivamente e deve-se ao maior percentual de áreas permeáveis e ao fluxo intenso de veículos.

Os pontos 4, 5, 6 e 9 apresentaram valores medianos de umidade relativa do ar, com 65,88%, 66,15%, 66,66% e 67,54%, resultados explicados de modo análogo ao comportamento da temperatura do ar.

A Figura 6 exibe a caracterização termo higrométrica do transecto móvel no período quente-seco.

Figura 6 - Caracterização termo higrométrica no período quente-seco.



Fonte: Elaborada pelas autoras, (2021).

Nota-se que tanto para a temperatura do ar, quanto para a umidade relativa do ar, os maiores, menores e medianos valores mantiveram-se nos mesmos pontos. Entretanto, cabe ressaltar que as condições termo higrométricas foram mais desfavoráveis quando comparadas ao período quente-úmido, com temperaturas do ar mais altas, umidades relativas do ar mais baixas, além de ilhas de calor com magnitudes que variaram de fraca a forte. Para melhor compreensão os valores são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados termo higrométricos e de ilhas de calor no período quente-seco.

Pontos	Valores	Temperatura do ar (°C)	Ilha de Calor	Valores	Umidade relativa do ar (%)
1/6	Maiores	31,99	4,38 - forte	Menores	48,09
2		31,02	3,45 - moderada		49,98
3		30,98	2,95 - moderada		50,63
15		30,93	2,75 - moderada		51,46
14		30,81	2,55 - moderada		52,01
13		30,00	2,10 - moderada		53,08
11	Menores	28,89	0,09 - fraca	Maiores	65,85
7		28,91	0,48 - fraca		65,83
8		29,00	0,90 - fraca		64,18
10		29,47	0,95 - fraca		64,05
12		29,33	1,60 - fraca		63,98
4	Medianos	29,99	1,90 - fraca	Medianos	58,76
5		29,97	1,85 - fraca		61,50
6		29,97	1,80 - fraca		62,71
9		29,99	1,99 - fraca		61,39

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021).

Mais uma vez, o ponto 11 registrou a menor temperatura do ar e a maior umidade relativa do ar. Nos anos de 2011-2012 e 2016 Paula (2017) também analisou a variação termo higrométrica na cidade de Cuiabá e um dos pontos definidos pela autora se localizava em frente ao parque urbano Massairo Okamura, da mesma forma que o Ponto 11 da presente pesquisa. Foram verificadas nessa localidade específica, as menores temperaturas do ar e as maiores umidades relativas do ar em comparação com as áreas mais aquecidas e secas, corroborando com os valores aferidos na presente pesquisa.

Isso porque, áreas urbanas com representativa cobertura vegetal influenciam o equilíbrio higrométrico ambiental devido aos processos biológicos vegetais, entre eles, a fotossíntese e a transpiração, que estão relacionadas com a absorção da radiação solar de ondas curtas (OLIVEIRA, 2011).

O ponto 1/16 também obteve a maior temperatura do ar e menor umidade relativa do ar no período quente-seco, confirmando que o alto percentual de áreas impermeáveis associado ao intenso fluxo de veículos, possui a capacidade aquecer o ar ao seu redor.

Por fim, a temperatura do ar e a umidade relativa do ar apresentaram variações

semelhantes em ambos os métodos empregados para a obtenção de dados (estação e transecto móvel) e a Tabela 4 exibe os valores que comprovaram que não houve diferenças estatísticas significativas.

Tabela 4 - Resultados do teste de qui-quadrado (χ^2), com seus graus de liberdade (GL) e o p valor (p).

Variáveis do transecto móvel	χ^2	GL	p
Temperatura do ar	106	96	0,252
Umidade relativa do ar	131	120	0,233

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021).

Sendo assim, pode-se afirmar que as variáveis caracterizadas por transecto móvel, foram validadas com as variáveis aferidas pela estação meteorológica de referência.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os mapas temáticos elaborados para a verificação da cobertura da terra em cada ponto, foram uma ferramenta útil para o entendimento das características inerentes a forma de ocupação do solo urbano, ressaltando que áreas densamente urbanizadas atuam diretamente no clima de áreas adjacentes, mesmo quando estas possuem características diferentes em termos de uso e ocupação da solo.

A caracterização microclimática realizada com a estação meteorológica de referência, obteve o mesmo comportamento da caracterização termo higrométrica feita pelo transecto móvel. Com maior umidade relativa do ar no período quente-úmido e menor no período quente-seco, além de menores temperaturas do ar no período quente-úmido e maiores no período quente-seco. Por essas razões, o presente estudo representou o clima característico de Cuiabá e o procedimento metodológico do transecto móvel mostrou-se adequado para a investigação das variáveis climatológicas, não apresentando intercorrências nas medições e sendo validado estatisticamente.

Em relação às ilhas de calor, a análise da área estudada mostrou-se relevante para uma avaliação mais precisa dessa anomalia térmica na cidade em questão. Com isso, há a possibilidade de amenizar os impactos da urbanização, através de intervenções adequadas,

como por exemplo, o uso de materiais que possuem maior albedo, ou seja, cuja reflexão da radiação solar é próxima ao total, não havendo absorção de calor. Deve ser considerado também o uso de materiais de construção e pavimentação com tecnologias avançadas, o aumento de áreas verdes e a inserção de praças e parques urbanos.

Por fim, considera-se que o presente estudo possa contribuir para o meio científico, para os gestores públicos e para os planejadores urbanos, permitindo um melhor entendimento das variações microclimáticas existentes na cidade de Cuiabá e, principalmente, nas áreas de expansão, possibilitando a avaliação da influência das anomalias termo higrométricas existentes nas áreas urbanas consolidadas.

REFERÊNCIAS

ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S. Padrões da temperatura do ar e da umidade relativa: Estudo de caso no campus de Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso. **Boletim Geográfico da UEM**. Maringá, v. 30, n. 3, p. 5-16, 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.

CARPIO, M.; GONZÁLEZ, A.; GONZÁLEZ, M.; VERICHEV, K. Influence of pavements on the urban heat island phenomenon: A scientific evolution analysis. **Energy and Buildings**, v. 226, 2020.

CHEGURY, J. Q. B. M. **Análise da variação termo-higrométrica e das ilhas de calor em Cuiabá – MT**. 2019. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2019. Disponível em: https://pgfa.ufmt.br/index.php/br/informacoes/corpo-discente/doutorado. Acesso em: 25 de jan de 2020.

CORREA, A. P. A.; QUEIROZ, E.; TREVISAN, N. **Teste do qui-quadrado**, 2020. Disponível em: http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/disciplinas:ce001:teste_do_qui-quadrado.pdf. Acesso em 15 jan. 2020.

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

FERREIRA, L. de F.; CARRILHO, S. T.; MENDES, P. C. Áreas verdes urbanas: uma contribuição aos estudos das ilhas de frescor. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituiutaba, v. 6, n. 2, p. 101-120, jul./dez. 2015.

FIALHO, E. S. Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito. **Revista Acta Geográfica**, Boa Vista, Edição Especial. Climatologia Geográfica, p. 61-76, 2012.

GARCÍA, F. F. **Manual de climatologia aplicada: clima, meio ambiente e planejamento**. Madrid: Editorial Sintesis, 1996.

GHADBAN, M.; BAAYOUN, A.; LAKKIS, I.; NAJEM, S.; SALIBA, N. A.; SHIHADEH, A. A novel method to improve temperature forecast in data-scarce urban environments with application to the Urban Heat Island in Beirut. **Urban Climate**, v. 33, 100648, 2020.

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: 03 jan. de 2020.

INMET - Instituto Nacional De Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil**. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas. Acesso em: 02 de out. de 2019.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2020. Disponível em: http://sonda.ccst.inpe.br/estacoes/cuiaba_clima.html. Acesso em: 25 de julho de 2020.

KOTHARKAR, R.; RAMESH, A.; BAGADE A. Urban Heat Island studies in South Asia: A critical review. **Urban Climate**, 2018.

LIU, W.; HAN, Y.; LI, J.; TIAN, X. & LIU, Y. Factors affecting relative humidity and its relationship with the long-term variation of fog-haze events in the Yangtze River Delta. **Atmospheric Environment**, v. 193, p. 242-250, nov. 2018.

LIU, Y.; LI, Q.; MU, K.; ZHANG, M.; LIU, J. Urban heat island effects of various urban morphologies under regional climate conditions. **Science of the total environment**, v. 743, 140589, 2020.

MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S.; QUERINO, C. A. S.; DANELICHEN, V. H. M.; VELASQUE, M. C. S. Seasonal and interannual pattern of meteorological variables in Cuiabá, Mato Grosso State, Brazil. **Revista Brasileira de Geofísica**. v. 33, p. 477- 488, 2015.

MACIEL, C. R.; LUZ, V. S.; SANTOS, F. M. M.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S. Interação das Variáveis Microclimáticas e Cobertura do Solo em Região Urbana e Limítrofe-Urbana na Cidade de Cuiabá/MT. **Caminhos de Geografia (Revista Online)**. v. 15, n. 51, p. 199–215, Setembro, 2014.

MIHALAKAKOU, G.; SANTAMOURIS, M.; ASIMAKOPOULOS, D. Modeling ambient air temperature time series using neural networks. **Journal of Geophysical Research D: Atmospheres**, v.103, n. 16, p. 19509-19517, 1998.

NAKATA-OSAKI, C. M.; SOUZA, L. C. L. de; RODRIGUES, D. S. Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um SIG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 73-87, jul./set. 2016.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DAS NAÇÕES UNIDAS. **População mundial continua a aumentar, mas crescimento é desigual**. ONU News, 2019. Disponível em:https://news.un.org/pt/tags/populacao-mundial. Acesso em: 20 de jul de 2019.

PAULA, D. C. J**. Análise termohigrométrica pós intervenções urbanas em Cuiabá-MT**. 2017. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017. Disponível em: https://pgfa.ufmt.br/index.php/br/informacoes/corpo-discente/doutorado. Acesso em: 20 de out. de 2019.

OKE, T. R. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment**, v. 7, n. 8, p. 769-779, 1973.

OKE, T. R. **Siting and exposure of meteorological instruments at urban sites**. In: Air Pollution Modeling and its Application XVII. Borrego, C. and A. L. Norman (eds), Springer, 2004.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 108, n. 455, p. 1-24, 1982.

OLIVEIRA, A. S. I**nfluência da vegetação arbórea no microclima e uso de praças públicas**. Cuiabá, 2011. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, 2011. Disponível em: https://pgfa.ufmt.br/index.php/br/informacoes/corpo-discente/doutorado. Acesso em 14 de set. de 2019.

QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; QUERINO, J. K. A. S.; VON RADOW, C.; MARQUES FILHO, A. O. Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade (Kt), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas – Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 204-294, 2011.

ROCHA, A. D. **Espectro cruzado e coerência wavelet: um estudo de variáveis micrometeorológicas em frações urbanas na cidade de Cuiabá, MT**. 2018. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018. Disponível em: https://pgfa.ufmt.br/index.php/br/informacoes/corpo-discente/doutorado. Acesso em: 14 de set. de 2019.

SANTAMOURIS, M. Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. **Science of the total Environment**, v. 512-513, p. 582-598, 2015.

SANTAMOURIS, M. CARTALIS, C. SYNNEFA, A.; KOLOKOTSA, D. On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—a review. **Energy and Buildings**, v. 98, p. 119-124, 2015.

SANTAMOURIS, M. Cooling the buildings – past, present and future. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 617-638, 2016.

SANTAMOURIS, M.; HADDAD, S.; SALIARI, M.; VASILAKOPOULOU, K.; SYNNEFA, A.; PAOLINI, R.; ULPIANI, G.; GARSHASBI, S.; FIORITO, F. On the energy impact of urban heat island in Sydney: climate and energy potential of mitigation technologies. **Energy and Buildings**, v. 166, p. 154-164, 2018.

SANTAMOURIS, M. Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. **Energy and Buildings**, v. 207, 109482, 2020.

SANTOS, F. M. de M. **Influência da Ocupação do Solo na variação termohigrométrica na cidade de Cuiabá-MT.** Cuiabá, 2012. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, 2012. Disponível em: https://pgfa.ufmt.br/index.php/br/informacoes/corpo-discente/doutorado. Acesso em: 5 de jul de 2020.

ULPIANI, G. On the linkage between urban heat island and urban pollution island: Three-decade literature review towards a conceptual framework. **Science of the total environment**, v. 751, 141727, 2021.

VAILSHERY, L. S.; JAGANMOHAN, M.; NEGENDRA, H. Effect of street trees on microclimate and air pollution in a tropical city. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 12, n. 3, p. 408-415, 2013.

VIDE, J. M.; GARCIA, M. C. M. Probability values for the intensity of Barcelona's urban heat island (Spain). **Atmospheric Research**, v. 240, 104877, 2020.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: Conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

ZAK, M.; NITA, I.; DUMITRESCU, A.; CHEVAL, S. Influence of synoptic scale atmospheric circulation on the development of urban heat island in Prague and Bucharest. **Urban Climate**, v. 34, 100681, 2020.