



IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA PAISAGEM URBANA E ENTORNO RURAL DE CAMPO GRANDE

DOI: 10.19177/rgsa.v9e0l2020263-286

Camila Amaro de Souza¹
Antonio Conceição Paranhos Filho²
Eliane Guaraldo³



RESUMO

Devido à complexidade do terreno urbano, o monitoramento das características térmicas intra-urbanas representativas é uma tarefa difícil (OKE, 2004). As características de áreas urbanizadas podem ser quantificadas por diferentes métodos. Um deles é o sistema de classificação de Zonas Climáticas Locais (STEWART, 2011a) que descreve as condições físicas e de radiação de uma determinada área com escala considerada local. O objetivo desta pesquisa é caracterizar a paisagem urbana e entorno rural da cidade de Campo Grande (Centro-Oeste, Brasil). Como resultado, seis classes construídas foram detectadas e descritas a partir das modelagens: compacta de média elevação, compacta de baixa elevação, aberta de alta elevação, aberta de baixa elevação, grandes construções de baixa elevação, construção esparsa. O método pode ser utilizado em qualquer área urbana desde que os dados de entrada necessários estejam disponíveis.

Palavras-chave: LCZ. WUDAPT. Sensoriamento remoto. Conforto térmico. Brasil.

¹ Arquiteta e Urbanista, Doutora, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. E-mail: arg.camila.amaro@gmail.com

² Geólogo, Doutor, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. E-mail: toniparanhos@gmail.com

³ Arquiteta e Urbanista, Doutora, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. E-mail: arg.artes@gmail.com

IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF THE URBAN LANDSCAPE AND RURAL SURROUNDINGS OF CAMPO GRANDE

ABSTRACT

Monitoring urban characteristics is a difficult task when we think about the complexity of the current scenario (OKE, 2004). The characteristics of urbanized areas can be quantified by different methods. One of them is the Local Climate Zones classification system (STEWART, 2011a) which describes the physical and radiation conditions of a given area with a scale considered local. The objective of this research is to characterize the urban landscape and rural surroundings of the city of Campo Grande (Midwest, Brazil). As a result, six built classes were detected and described from the modeling: compact medium lift, compact low lift, open high lift, open low lift, large low-rise buildings, sparse construction. The method can be used in any urban area since the necessary input data is available.

Keywords: LCZ. WUDAPT. Remote sensing. Thermal comfort. Brazil.

1. INTRODUÇÃO

A rápida expansão urbana global faz com que ações adaptativas sejam necessárias nas cidades. Pesquisas sobre o impacto dos efeitos das mudanças climáticas devido ao aquecimento urbano local (caracterizada por ilhas de calor urbanas) permanecem com dificuldades quanto às análises computacionais e paramétricas, bem como cálculos estatísticos que envolvam modelos climáticos com as características específicas das cidades (EMMANUEL; LOCONSOLE, 2015).

A situação está em constante evolução (STEWART, 2011a; HEBBERT e JANKOVIC, 2013) mas muito ainda precisa ser feito para amenizar o efeito de ilha de calor urbana (ICU) e utilizar técnicas de mitigação de ICU como parte da adaptação às mudanças climáticas locais.

A expansão urbana de Campo Grande, localizada no centro do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil (Figura 3 – Área de Estudo) está inserida nesse cenário de alterações espaciais, de densidade, alterações metabólicas e conseqüentemente, térmicas.

Os diferentes tipos de uso e ocupação do solo, associados às características do relevo, de presença ou ausência de corpos d'água, arborização e outros fatores, provocam mudanças na qualidade ambiental, que

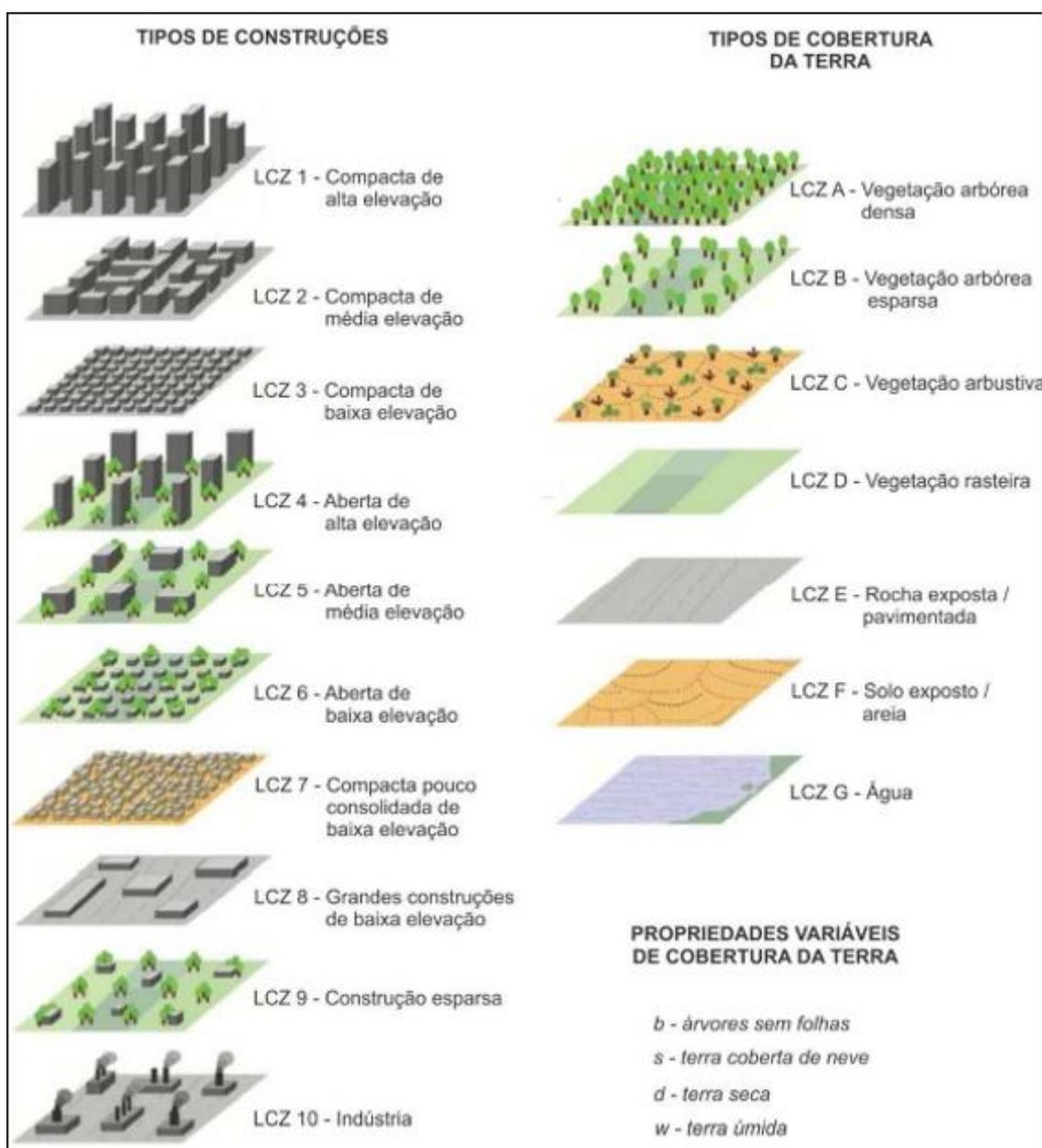
se materializam de diversas maneiras e uma destas diz respeito à atmosfera urbana (MASSON *et al.*, 2014; MIDDLE, 2014).

Diante da situação atual, a classificação da paisagem “*Local Climate Zones*” (LCZ) (STEWART, 2011a; STEWART e OKE, 2012), ou zonas climáticas locais, surge como um método de ordenação da paisagem urbana a partir de classes e subclasses, cada uma com o mesmo número de propriedades físicas e radiativas analisadas.

Cada zona recebe uma denominação e uma sigla, e é ordenada por propriedades como: altura e rugosidade dos elementos. Revela-se como uma maneira de classificar a paisagem dos ambientes climáticos intraurbanos, aferindo a variação de temperatura entre cada zona climática local (ΔT LCZ) (STEWART, 2011a).

A classificação da paisagem urbana aqui utilizada é uma simplificação da variedade de situações encontradas nos ambientes urbanos, composta por arranjos entre vários elementos urbanos: edifícios, vias, vegetação, solos, rocha, e água, cada um em diferentes quantidades e distribuição. Esta simplificação reduz todos estes arranjos em 17 padrões reconhecíveis, 10 relacionados a tipologias construtivas e 7 relacionados a cobertura do solo. A classificação ainda conta com uma classe para zona industrial e 4 subclasses para ocorrências sazonais como neve ou solo alagado (Figura 1).

FIGURA 1. Imagens demonstrativas das classes do método LCZ



(CARDOSO; AMORIM, 2017).

De acordo com o autor (STEWART, 2011a), o esqueleto do sistema tem como apoio dados coletados e dados de observação, além de relações numéricas, e as nomenclaturas de cada Zona são chamadas de *Local Climate Zones* (LCZ), pelo fato de serem locais na escala de análise, climáticas devido às propriedades (físicas e radiativas) estudadas e zonais no aspecto de distribuição espacial.

As propriedades físicas (geométricas e de cobertura superficial) do método LCZ, conforme descrito numericamente na Tabela 1, são as seguintes:

- 1: Relação da quantidade de hemisfério do céu visível a partir do nível do solo até a de um hemisfério desobstruído;
- 2: Relação média entre altura e largura dos cânions das ruas (LCZs 1–7), espaçamento entre edifícios (LCZs 8–10) e espaçamento das árvores (LCZs A – G);
- 3: Relação entre a área do plano de construção e a área total do plano (%);
- 4: Relação entre a área do plano impermeável (pavimentada, rocha) e a área total do plano (%);
- 5: Relação entre a área do plano permeável (solo nu, vegetação, água) e a área total do plano (%);
- 6: Média geométrica de alturas de construção (LCZs 1–10) e alturas de árvores / plantas (LCZs A – F) (m);
- 7: Classificação de rugosidade efetiva do terreno (z_0) para paisagens da cidade e do país (DAVENPORT et al., 2000) – conforme ilustrado na Tabela 3.



Tabela 1. Propriedades geométricas e de cobertura superficial para zonas climáticas locais. Todas as propriedades são sem unidade, exceto a altura dos elementos de rugosidade (m). Adaptado de Stewart e Oke (2012).

Zona climática local (LCZ)	Fator de céu visível ¹	Aspecto ratio ²	Fração de superfície edific. ³	Fração de superfície imp. ⁴	Fração de superfície perm. ⁵	Altura de rugosidade dos elementos ⁶	Classe de rugosidade do terreno ⁷
LCZ 1 - Compacta	0.2–0.4	> 2	40–60	40–60	<10	> 25	8

de	alta								
elevação									
LCZ	2	-	0.3–	0.75–	40–70	30–50	<20	10–25	6-7
Compacta			0.6	2					
de	média								
elevação									
LCZ	3	-	0.2–	0.75–	40–70	20–50	<30	3–10	6
Compacta			0.6	1.5					
de	baixa								
elevação									
LCZ	4	-	0.5–	0.75–	20–40	30–40	30–40	> 25	7-8
Aberta	de		0.7	1.25					
alta									
elevação									
LCZ	5	-	0.5–	0.3–	20–40	30–50	20–40	10–25	5-6
Aberta	de		0.8	0.75					
média									
elevação									
LCZ	6	-	0.6–	0.3–	20–40	20–50	30-60	3–10	5-6
Aberta	de		0.9	0.75					
baixa									
elevação									
LCZ	7	-	0.2–	1–2	60–90	<20	<30	2–4	4-5
Compacta			0.5						
pouco									
consolidada									
de	baixa								
elevação									
LCZ	8	-	>0.7	0.1–	30–50	40–50	<20	3–10	5
Grandes				0.3					
construções									
de	baixa								
elevação									

LCZ 9	-	>	0.1–	10–20	<20	60-80	3–10	5-6
Construção esparsa	0.8		0.25					
LCZ 10	-	0.6–	0.2–	20–30	20–40	40-50	5–15	5-6
Indústria	0.9		0.5					
LCZ A	-	<0.4	>1	<10	<10	>90	3–30	8
Vegetação arbórea densa								
LCZ B	-	0.5–	0.25–	<10	<10	>90	3–15	5-6
Vegetação arbórea esparsa	0.8		0.75					
LCZ C	-	0.7–	0.25–	<10	<10	>90	<2	4-5
Vegetação arbustiva	0.9		1.0					
LCZ D	-	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<1	3-4
Vegetação rasteira								
LCZ E	-	>0.9	<0.1	<10	>90	<10	<25	1-2
Rocha exposta/ pavimentada								
LCZ F - Solo exposto/ areia	>0.9		<0.1	<10	<10	>90	<25	1-2
LCZ G	-	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	-	1
Água								

Os valores de propriedades térmicas, radiativas e metabólicas para as zonas climáticas locais (Tabela 2) são os seguintes:

- 1: Capacidade da superfície para acumular ou liberar calor ($J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1/2} \cdot K^{-1}$). Varia com a umidade do solo e densidade do material;

- 2: Relação entre a quantidade de radiação solar refletida por uma superfície e a quantidade recebida por ela. Varia com a cor da superfície, umidade e rugosidade.
- 3: Densidade média anual do fluxo de calor ($W \cdot m^{-2}$) da combustão do combustível e da atividade humana (transporte, refrigeração / aquecimento do espaço, processamento industrial, metabolismo humano), varia significativamente com a latitude, estação e densidade populacional.

Tabela 2. Propriedades térmicas, radiativas e metabólicas para as zonas climáticas locais. Todos os valores são representativos da escala local. Adaptado de Stewart e Oke (2012).

Zona climática local (LCZ)	Capacidade da superfície ¹	Albedo da superfície ²	Liberação de calor antropogênico ³
LCZ 1 - Compacta de alta elevação	1,500–1,800	0,10-0,20	50-300
LCZ 2 - Compacta de média elevação	1,500–2,200	0,10-0,20	<75
LCZ 3 - Compacta de baixa elevação	1,200–1,800	0,10-0,20	<75
LCZ 4 - Aberta de alta elevação	1,400–1,800	0,12-0,25	<50
LCZ 5 - Aberta de média elevação	1,400–2,000	0,12-0,25	<25
LCZ 6 - Aberta de baixa elevação	1,200–1,800	0,12-0,25	<25
LCZ 7 - Compacta pouco consolidada de baixa elevação	800–1,500	0,15-0,35	<35

LCZ 8 - Grandes			
construções de baixa			<50
elevação	1,200–1,800	0,15-0,25	
LCZ 9 - Construção			
esparsa	1,000–1,800	0,12-0,25	<10
LCZ 10 – Indústria	1,000–2,500	0,12-0,20	> 300
LCZ A - Vegetação			
arbórea densa	Desconhecido	0,10-0,20	0
LCZ B - Vegetação			
arbórea esparsa	1,000–1,800	0,15-0,25	0
LCZ C - Vegetação			
arbustiva	700–1,500	0,15-0,30	0
LCZ D - Vegetação			
rasteira	1,200–1,600	0,15-0,25	0
LCZ E - Rocha			
exposta/ pavimentada	1,200–2,500	0,15-0,30	0
LCZ F - Solo exposto/			
areia	600–1,400	0,20-0,35	0
LCZ G – Água	1,500	0,02-0,10	0

A elevada rugosidade nas áreas urbanas leva a uma diminuição da velocidade média do vento regional e o fluxo de vento é direcionado para a zona de menor pressão (OKE, 1987). Sendo assim, a rugosidade da superfície¹ é um conceito importante para trabalhar com pesquisas descritivas e preditivas a respeito do comportamento dos ventos em determinada superfície.

Grimmond e Oke (1999), realizaram um estudo com a finalidade de determinar a rugosidade em diferentes tipos de cidades. Uma de suas referências foi a metodologia de Davenport (1960; 1967). Já Stewart e Oke (2012) empregaram a classificação de rugosidade efetiva do terreno de

¹ “A rugosidade da superfície é a propriedade física que descreve a ação da superfície terrestre na redução do momentum e na absorção do impacto dos ventos (Martins et. al, 2008). A rugosidade do terreno controla o valor da tensão de cisalhamento (τ_0) e, por conseguinte, a velocidade de atrito (u^*). Quanto mais rugosa for a superfície, maior será a tensão de cisalhamento junto à superfície e maior será o déficit de quantidade de movimento na camada limite atmosférica (CLA)” (REIS, 2016, p.17).

Davenport et al. (2000) em suas análises de correspondência com as zonas climáticas locais (LCZ) conforme ilustra a Tabela 3.

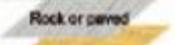
Tabela 3. Classificação de rugosidade efetiva do terreno de Davenport et al. (2000) e sua correspondência com as LCZs. Adaptado de Stewart e Oke (2012).

Classe Davenport (2000)	Rugosidade da superfície e z_0 (m)	Descrição da paisagem	LCZ correspondente
1. Mar	0,0002	Mar aberto, planícies cobertas de neve, deserto inexpressivo, asfalto e concreto, com um percurso livre de vários quilômetros.	E, F, G
2. Suave	0,005	paisagem inexpressiva, sem obstáculos e pouca ou nenhuma vegetação (pântano, coberto de neve ou pousio).	E, F
3. Aberta	0,03	Vegetação rasteira e obstáculos isolados separados por obstáculos de 50 de altura (grama, sistema viário de aeroporto).	D
4. Rugoso aberto	0,1	Poucas árvores, obstáculos ocasionais (árvores isoladas, poucos edifícios) separados por obstáculos de 20 de altura.	7, C, D
5. Rugoso	0,25	Muitas árvores de alturas variadas, poucas construções separadas por obstáculos de 8 a 15 de altura, dependendo da porosidade (prédios, cinturões verdes).	5-10, B, C

6. Muito rugoso	0,5	Paisagem intensamente cultivada com grandes fazendas e aglomerados florestais separados por 8 alturas de obstáculos; mata nativa, pomares. Áreas urbanas com edifícios baixos interpenetrados por 3 a 7 alturas de edifícios; sem árvores altas.	2, 3, 5, 6, 9, 10, B
7. Skimming	1	Paisagem coberta com grandes obstáculos de altura semelhantes, separados por 1 altura de obstáculos (por exemplo, florestas maduras). Áreas urbanas densas sem variação significativa de altura de construção.	2, 4
8. Caótica	≥2	Paisagem com grandes obstáculos distribuídos irregularmente (por exemplo, áreas urbanas densas com mistura de edifícios altos e baixos, grandes florestas com muitas clareiras).	1, 4, A

A primeira etapa desta classificação consiste em elaborar fichas técnicas descritivas das características físicas e radiativas dos diferentes ambientes intraurbanos a partir de adaptação de Stewart e Oke (2012) (Figura 2).

Figura 2. Esquema das fichas técnicas das LCZs

LCZ KEY	ZONE NAME	#
ZONE DEFINITION		
<p><i>Form:</i> Description of building geometry, construction materials, land cover, tree density, and human activity. <i>Function:</i> Land uses most likely associated with this zone. <i>Location:</i> Expected location of the zone (core, periphery; city, countryside). <i>Correspondence:</i> Comparable zones in the urban classification systems of Oke (2004) and Ellefson (1990/91).</p>		
ZONE ILLUSTRATION		
<p>Objects</p> <ul style="list-style-type: none">  Buildings heavy materials  Dwellings lightweight materials  Trees/plants <p>Land cover</p> <ul style="list-style-type: none">  Low plants  Rock or paved  Soil or sand  Water 	<p><i>High-angle photographs</i> (© I.D. Stewart, Can Stock Photo Inc.)</p> 	
	<p><i>Low-level photographs</i> (© I.D. Stewart, Can Stock Photo Inc.)</p> 	
ZONE PROPERTIES		
<p><i>Sky view factor</i> ψ_{sky} 0 – 1</p>	<p>Fraction of sky hemisphere visible from ground level. Varies with height and spacing of buildings and trees. Affects surface radiational heating/cooling.</p>	
<p><i>Aspect ratio</i> H/W 0 – 3⁺</p>	<p>Mean height-to-width ratio of street canyons (LCZs 1–7), building spacing (LCZs 8–10), and tree spacing (LCZs A–G). Affects surface airflow and radiational heating/cooling.</p>	
<p><i>Mean building/tree height</i> z_{01} 0 – 50⁺ m</p>	<p>Geometric average of building heights (LCZs 1–10) and tree/plant heights (LCZs A–F). Affects surface reflectivity, flow regimes, and heat dispersion above ground.</p>	
<p><i>Terrain roughness class</i> 1 – 8</p>	<p>Davenport <i>et al.</i> (2000) classification of effective terrain roughness (z_0) for city and country landscapes. Affects surface reflectivity, flow regimes, and heat dispersion above ground. See Table 5 for class descriptions.</p>	
<p><i>Building surface fraction</i> λ_b 0 – 100 %</p>	<p>Proportion of ground surface with building cover. Affects surface reflectivity, flow regimes, and heat dispersion above ground.</p>	
<p><i>Impervious surface fraction</i> λ_i 0 – 100 %</p>	<p>Proportion of ground surface with impervious cover (paved or rock). Affects surface reflectivity, moisture availability, and heating/cooling potential.</p>	
<p><i>Pervious surface fraction</i> λ_p 0 – 100 %</p>	<p>Proportion of ground surface with pervious cover (bare soil, vegetation, water). Affects surface reflectivity, moisture availability, and heating/cooling potential.</p>	
<p><i>Surface admittance</i> μ 500 – 2,500⁺ J m⁻² s^{-0.7} K⁻¹</p>	<p>Ability of surface to accept or release heat at local scale. Affects surface heat storage and heating/cooling rates. Varies with soil wetness and material density. In dense tree canopies (LCZ A), the “surface” is undefined and admittance is unknown.</p>	
<p><i>Albedo</i> α 0.02 – 0.5</p>	<p>Surface reflectivity at local scale and under a clear midday sky. Affects surface radiational heating potential. Varies with surface color, wetness, and roughness.</p>	
<p><i>Anthropogenic heat flux</i> Q_T 0 – 400⁺ W m⁻²</p>	<p>Mean annual anthropogenic heat flux density at local scale. Heat sources include vehicle engines, industrial/domestic combustion processes, space cooling/heating, and human metabolism. Varies significantly with latitude, season, and population density.</p>	

(STEWART e OKE, 2012, p. 1897).

2. OBJETIVOS

Este capítulo tem como objetivo geral:

- analisar as diferentes zonas climáticas locais de Campo Grande a partir da adaptação da metodologia de Stewart (2011a).

Os objetivos específicos são:

1. Sistematizar os dados de modo a adequá-los à situação da cidade estudo de aplicação.
2. Identificar as zonas climáticas locais da cidade de Campo Grande - MS.
3. Elaborar fichas técnicas inéditas para cada zona climática local da cidade com os mesmos critérios (físicos e de radiação) de análise para cada zona, servindo como ferramenta de gestão urbana e ambiental na região centro-oeste.

3. MATERIAL E MÉTODOS

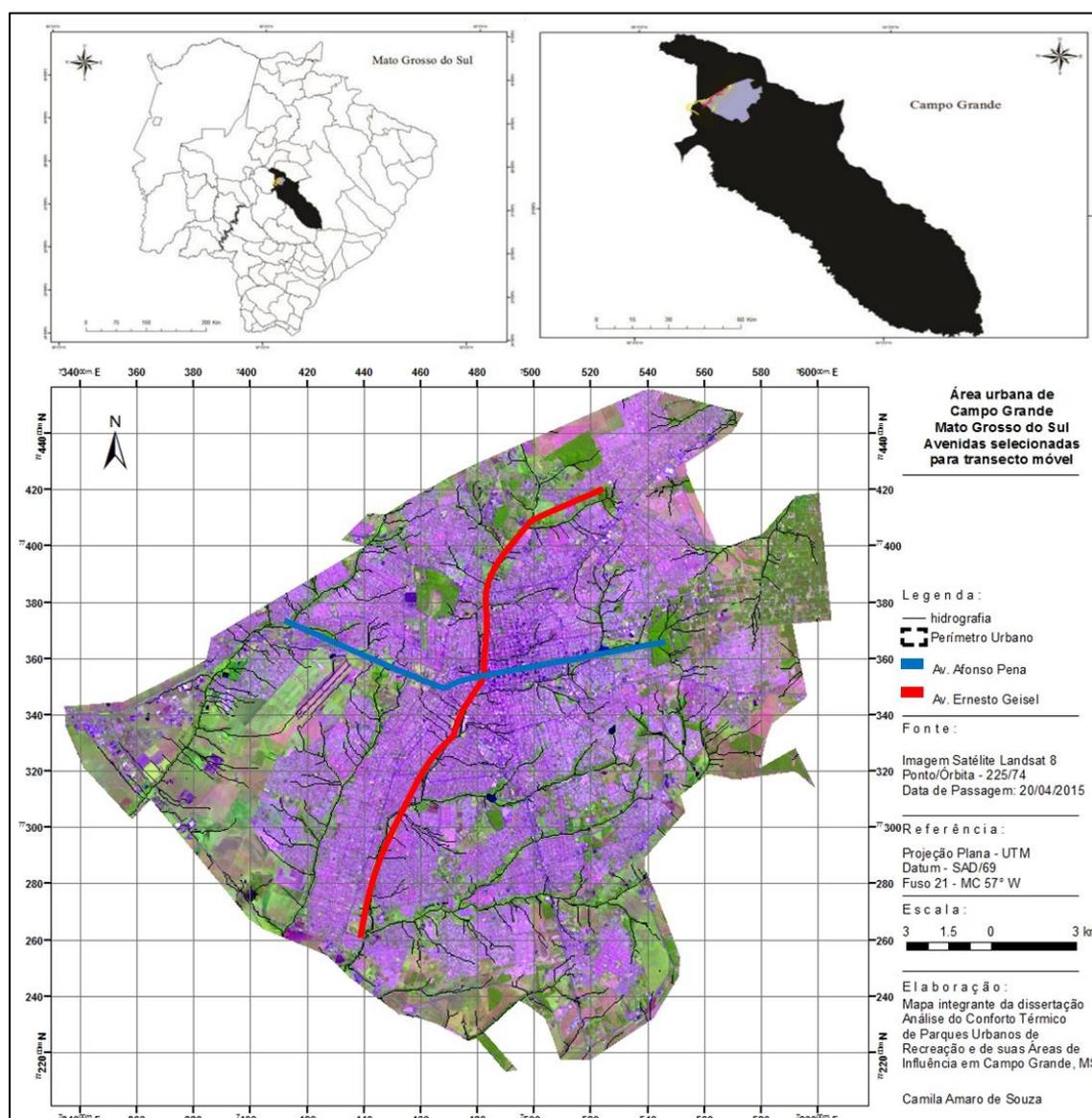
A rápida expansão urbana global faz com que ações adaptativas sejam necessárias nas cidades. Pesquisas sobre o impacto dos efeitos das mudanças climáticas devido ao aquecimento urbano local (caracterizada por ilhas de calor urbanas) permanecem com dificuldades quanto às análises computacionais e paramétricas, bem como cálculos estatísticos que envolvam modelos climáticos com as características específicas das cidades (EMMANUEL; LOCONSOLE, 2015).

A situação está em constante evolução (STEWART, 2011a; HEBBERT e JANKOVIC, 2013) mas muito ainda precisa ser feito para amenizar o efeito de ilha de calor urbana (ICU) e utilizar técnicas de mitigação de ICU como parte da adaptação às mudanças climáticas locais.

3.1. ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Campo Grande, localizada no centro do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil (Figura 3), com perímetro urbano de 155 km² e cerca de 874.210 habitantes (IBGE, 2017), também está inserida nesse contexto atual de modificações no âmbito, por exemplo, de: canalização de seus corpos hídricos, aumento de áreas impermeáveis, desequilíbrio no balanço de energia liberada a partir de radiação solar.

Figura 3. Localização de Campo Grande no Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. O mapa mostra a área de estudo.



Elaborado a partir do *software* QGIS 3.4.5.

A área de estudo desta pesquisa se estende pelo seu perímetro urbano e seus limites com as zonas rurais do município. A escala de análise inicial é a mesma das Regiões Urbanas de Campo Grande, podendo ser detalhada ao número de bairros com sobreposição em mapas de limites dos mesmos (Figura 2.3).

3.2. Zonas Climáticas Locais (LCZ)

Foi realizada uma seleção dos critérios do modelo de zonas climáticas locais que se encaixam na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Adotando-se as zonas LCZ de Stewart (2011a) como ponto de partida.

Existem diversos métodos de classificação de imagens que já foram aplicados para identificação de LCZs, tais como: a metodologia proposta por (BECHTEL *et al.*, 2015) com uso de *software* gratuito SAGA GIS e plataforma online de apoio (*World Urban Database and Access Portal Tools Project - WUDAPT*) e (BECHTEL *et al.*, 2016) que fez comparações entre o esquema de classificação LCZ e a metodologia GHSL LABEL (*Global Human Settlement Layer*) desenvolvida por *Joint Research Centre (JRC)*; o método de (GELETIC; LEHNERT, 2016) com algoritmos para decisões de *pixels* para cada classe (LCZ) sendo nove (9) equações sequenciais; e a classificação a partir de análise de padrões com elaboração de tabela de atributos, feita por (CARDOSO; AMORIM, 2017) com uso de *software* ArcGIS. A comparação entre os métodos acima permitiu interpretar também a tomada de decisão de cada um dos procedimentos adotados.

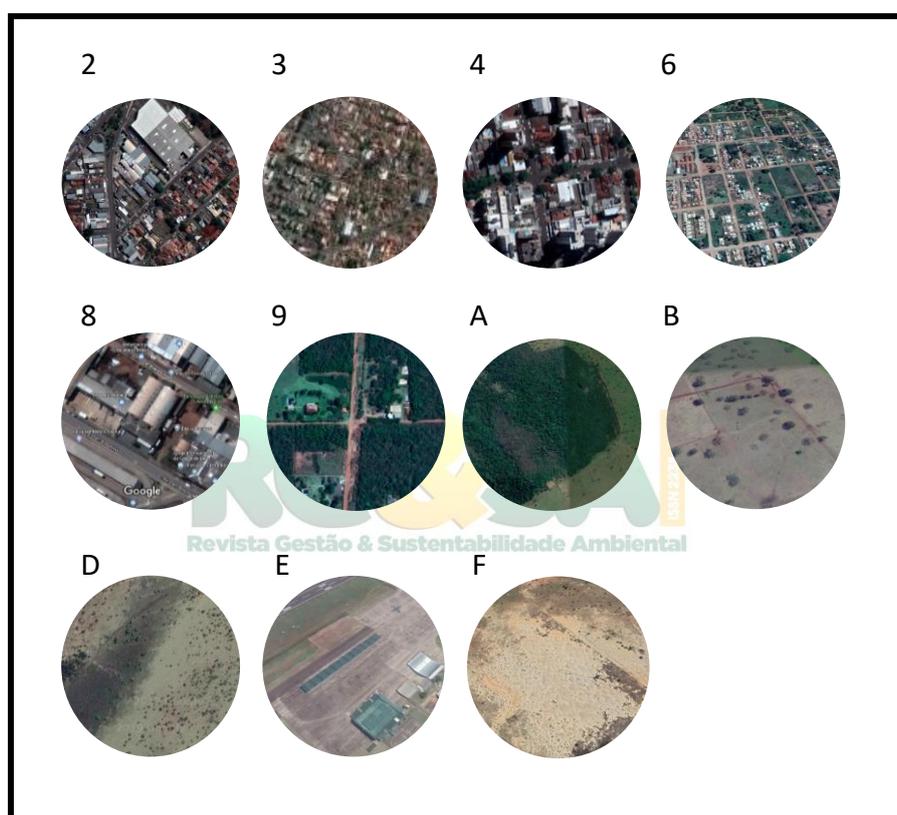
Foi elaborado um mapa com a distribuição das LCZs no perímetro urbano, ou seja, até 17 classes (conforme ilustrado na Figura 1), com o auxílio de ferramentas do *software* QGIS versão 3.4.5 – Madero (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2015) e do *software* SAGA versão 7.0 (Sistema de Análises Geocientíficas Automatizado) seguindo o tutorial da plataforma online de apoio (*World Urban Database and Access Portal Tools Project - WUDAPT*) e o embasamento teórico e matemático de Stewart (2011a) para a leitura dos dados de saída gerados pelo *software*.

Por fim, foram elaboradas fichas técnicas padronizadas para sistematização dos dados de cada zona climática local contemplada com a pesquisa conforme Figura 2. As fichas contemplam: sigla, nome, função (comércio, residência, uso misto, área verde), localização, características da classe (morfologia, cobertura da terra, fluxo antropogênico), imagens ilustrativas da classe e propriedades (Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3).

As propriedades físicas enumeradas anteriormente foram analisadas com os métodos GIS, a partir de bancos de dados baseados em vetores e raster, usando principalmente informações de sensoriamento remoto. Estes cálculos foram feitos para áreas circulares com centro em pontos de medições de

temperatura (obtidas a partir de transectos móveis de inverno 2018 e verão 2019) e com raio de 250 m conforme Figura 4. Este tamanho é necessário, pois a busca a montante de tipicamente 200 a 500 m é necessária para que o ar na altura da medição se torne totalmente ajustado à superfície subjacente e relativamente homogêneo (STEWART e OKE, 2012).

Figura 4. Fotografias aéreas dos círculos de amostragem com suas designações representando os tipos de LCZ que ocorrem em Campo Grande, Mato Grosso do Sul.



A capacidade da superfície em liberar calor e o albedo (itens 1 e 2 da Tabela 2) foram analisadas a partir de mapa de temperatura de superfície gerados a partir do uso das bandas termais 10 e 11 das imagens de satélite LANDSAT-8 obtidas através do Earth Explorer do USGS (*United States Geological Service* - <http://earthexplorer.usgs.gov/>), Google-Earth, órbita e ponto (225/74), data de passagem 26/04/2015, hora local 09h45.

O fluxo de calor antropogênico (item 3 da Tabela 2) foi previsto a partir da análise da densidade populacional das amostras de cada zona climática local e da quantidade de veículos que alí circulam (análise feita a partir do zoneamento da cidade, verificando as vias coletoras e corredores existentes).

A relação da quantidade de hemisfério do céu visível a partir do nível do solo foi aferida a partir do uso de câmera fotográfica de celular Samsung Galaxy A8 com lente olho de peixe apontada para cima, em nível do solo, em condições de céu claro (descoberto) e, posteriormente realizado tratamento no software gratuito *RayMan* PRO versão 2.3 beta de acordo com Matzarakis *et al.* (2007; 2010).

A relação entre a área do plano de construção e a área total do plano (%) foi aferida no raio de 250 m de cada amostra selecionada de cada Zona Climática Local identificada na cidade. No caso de edifícios na fronteira do círculo, apenas a área de intersecção foi levada em consideração.

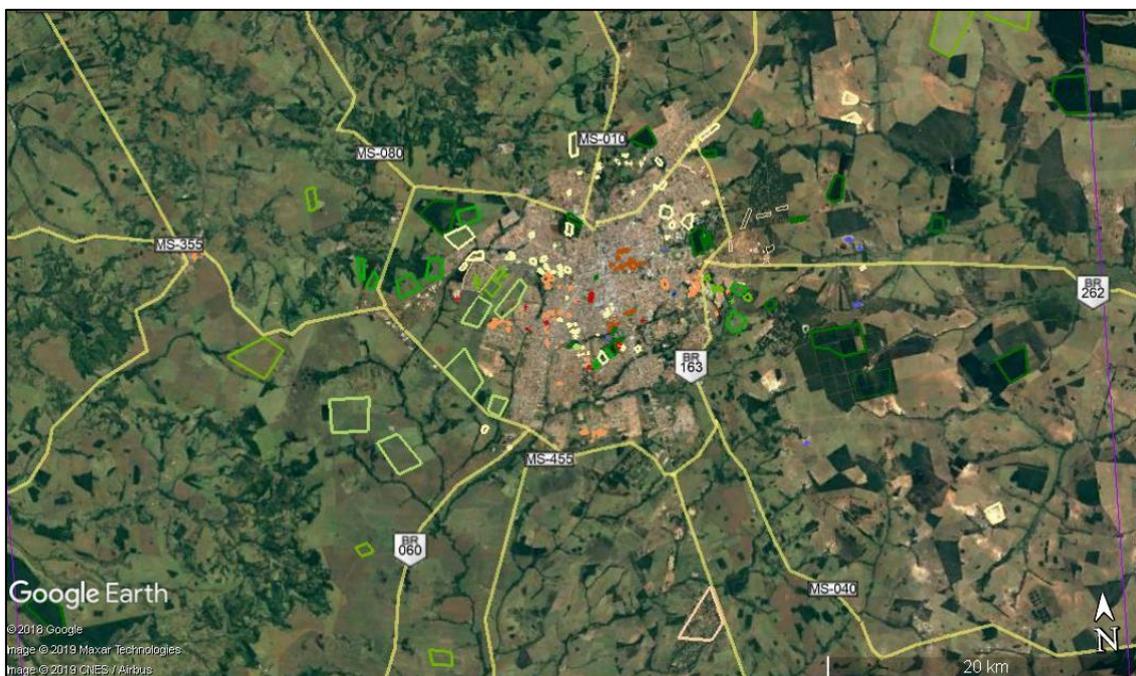
A relação entre a área do plano impermeável (pavimentada, rocha) e a área total do plano (%) e a relação entre a área do plano permeável (solo nu, vegetação, água) e a área total do plano (%) foram analisadas a partir de mapa gerado com imagens de satélite LANDSAT-8 obtidas através do *Earth Explorer* do USGS (*United States Geological Service* - <http://earthexplorer.usgs.gov/>), Google-Earth com análise da cobertura vegetal a partir do índice de vegetação normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) para imagem do ano de 2015 como base inicial de observação da área de estudo, órbita e ponto (225/74), data de passagem 26/04/2015, hora local 09h45.

A classificação de rugosidade efetiva do terreno (z_0) para paisagens da cidade foi realizada de acordo com modelo de Davenport *et al.* (2000) – conforme ilustrado na Tabela 3. As áreas do círculo foram classificadas com interpretação visual de fotografias aéreas, mapas topográficos e banco de dados do edifício.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram coletadas pelo menos cinco amostras das zonas climáticas locais detectadas no perímetro urbano e no entorno, conforme Figura 5. As coletas foram realizadas a partir de elaboração de polígonos no Google Earth PRO, estes foram exportados em formato KML e utilizados para o processamento do mapa no *software* SAGA GIS versão 7.0 a partir do passo-a-passo da plataforma *online* WUDAPT.

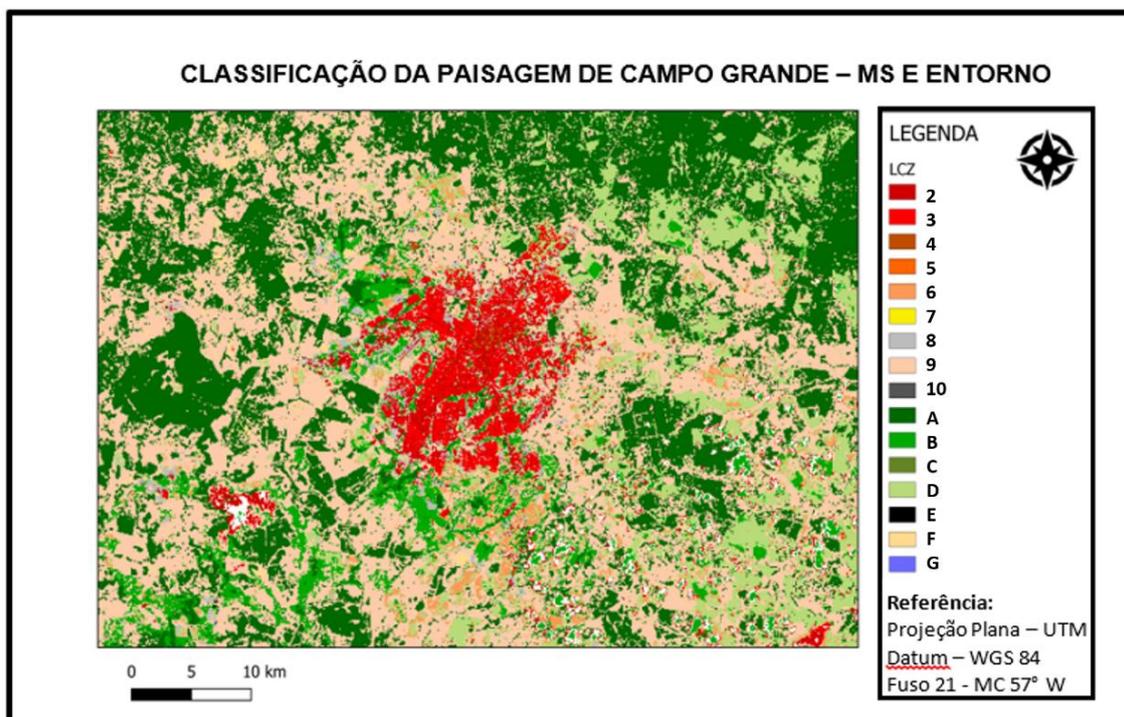
Figura 5. Coleta de amostras para classificação da Paisagem da cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul e entorno rural (20km) a partir do método LCZ. Resolução espacial: 20Km.



Mapa elaborado a partir do Google Earth PRO, Maxar Technologies (2018).

As classes selecionadas a partir das modelagens foram: 2 – compacta de média elevação, 3 – compacta de baixa elevação, 4 – aberta de alta elevação, 6 – aberta de baixa elevação, 8 – grandes construções de baixa elevação, 9 – construção esparsa, A – vegetação arbórea densa, B – vegetação arbórea esparsa, D – vegetação rasteira, E – pavimentação asfáltica, rocha exposta, F – solo exposto, areia.

Figura 6. Classificação da Paisagem da cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul e entorno rural (20km) a partir do método LCZ.



Mapa elaborado a partir de algoritmo do software SAGA GIS versão 7.0 e classificação no software QGIS versão 3.4.5 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2018).

REUSA
Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental

A Figura 6 apresenta o mapa de morfologia urbana de 2019, segundo *local climate zones* (LCZ), de acordo com a metodologia descrita no item 2.3 deste trabalho, com resolução espacial de 100m. A comparação visual com imagens GOOGLE EARTH (2018 e 2019) evidenciou boa correspondência para as principais morfologias; porém, algumas incertezas na classificação foram verificadas.

A principal incerteza é a classificação incorreta de áreas de vegetação arbórea esparsa ou vegetação rasteira na zona rural, que são classificadas como LCZ 9 (construção esparsa). Mesmo com a alteração das áreas de treinamento o problema persistiu. Ferreira et al. (2016) discutem esse erro, sugerindo que a quantidade de pavimentos nas margens dos rios, bem como os altos níveis de poluição poderiam ser a causa dos erros de classificação.

A correção manual dessas áreas foi considerada, porém, dadas as dimensões do pixel (100m), ora este deveria ser alterado para a classe Vegetação Arbórea

Esparsa (LCZ B), ora para a classe Vegetação Rasteira (LCZ D), a depender do percentual de participação da vegetação arbórea na área do pixel. Esse processo teria que ser feito visualmente, o que demandaria elevado tempo de processamento. Além disso, o maior impacto desse erro de classificação seria na aferição da temperatura de superfície (T_{sup}) ou da temperatura do ar (T_{ar}) por classe LCZ, o que não foi realizado no entorno rural inteiro, apenas em uma amostragem corretamente classificada.

A aproximação do mapa para a área rural, evidencia tanto a boa correspondência para as principais características morfológicas na escala local (Figura 7), quanto algumas das principais confusões verificadas em todas as classificações LCZ. O entorno da área considerada LCZ A (vegetação densa) ficou classificado predominantemente como LCZ 9 (construção esparsa), sendo que deveria ter obtido a classificação LCZ B (vegetação arbórea esparsa) ou LCZ D (vegetação rasteira).

Figura 7. 1) Imagem Google Earth (2019). 2) Mapa LCZ (2019). Área rural.



Fonte: 1) Google (2019). 2) Elaboração a partir de algoritmo do *software* SAGA GIS versão 7.0 e classificação no *software* QGIS versão 3.4.5.

Na Figura 8, o entorno da área considerada LCZ A (vegetação densa) ficou corretamente classificado como LCZ B (vegetação arbórea esparsa) e LCZ D (vegetação rasteira), havendo alguma distribuição de LCZ 9 (construção esparsa) indevidamente.

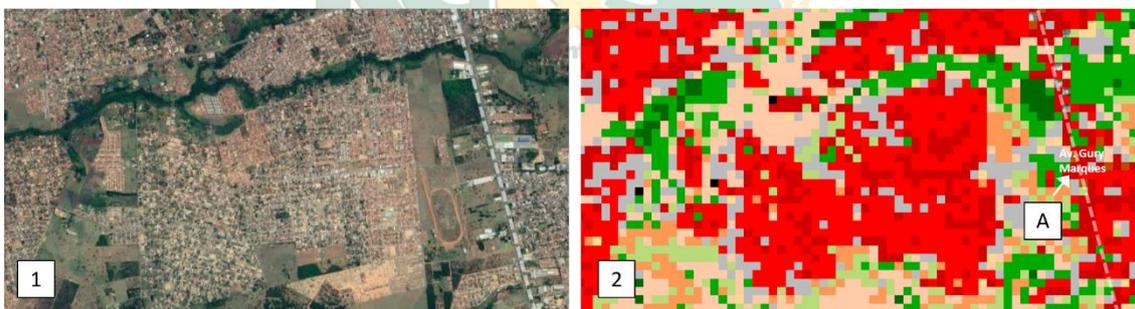
Figura 8. 1) Imagem Google Earth (2019). 2) Mapa LCZ (2019). Área rural.



Fonte: 1) Google (2019). 2) Elaboração a partir de algoritmo do *software* SAGA GIS versão 7.0 e classificação no *software* QGIS versão 3.4.5.

Verifica-se a classificação de alguns eixos viários como LCZ 2 (compacta de baixa elevação) e LCZ 8 (grandes construções de baixa elevação). A grande quantidade de áreas pavimentadas existentes nas zonas do tipo 8 possivelmente explica a classificação equivocada de algumas grandes avenidas (Figura 9).

Figura 9. 1) Imagem Google Earth (2019). 2) Mapa LCZ (2019). Eixo viário da Av. Gury Marques.



Fonte: 1) Google (2019). 2) Elaboração a partir de algoritmo do *software* SAGA GIS versão 7.0 e classificação no *software* QGIS versão 3.4.5.

As Zonas Climáticas Locais (LCZ) de Campo Grande foram organizadas e descritas de acordo com as fichas técnicas elaboradas por Stewart (2011a), as quais foram preenchidas com os dados observados pela cidade e nos modelos de regressão, com ilustrações correspondentes as LCZs e fotografias.

A organização das LCZs e suas respectivas informações em fichas técnicas propiciou a visualização dos elementos que as distinguem entre si e o conhecimento dos fatores que mais interferem na temperatura do ar próximo à

superfície representada por cada LCZ (forma construída, materiais construtivos, tipo de cobertura da terra e fluxo de tráfego). As mesmas encontram-se na íntegra na tese de doutorado de Souza (2019).

5. CONCLUSÃO

No que diz respeito às modificações térmicas e formação de ilhas de calor urbana, a simplificação dos métodos de análises amplamente adotados desde os anos 50 pode mascarar o cenário real, por exemplo, por utilizar dados higrômicos de estações meteorológicas afastadas dos pontos de análise; e os métodos tradicionais de classificação, por exemplo os que adotam apenas as características de uso e cobertura do solo, não são vistos como suficientes para descrever as características dos ambientes climáticos intraurbanos, e fazem uma relação apenas entre o que é considerado ambiente urbano e zona rural.

A identificação e a caracterização das zonas climáticas locais da cidade e do entorno rural próximo permitiu um quadro descritivo da situação de Campo Grande. A criação de cenários de cada superfície analisada, foi base para a formação de um banco de dados atualizado para pesquisas e trabalhos extensíveis a cidades similares e à região centro-oeste brasileira.

Um dos efeitos diretos da Ilha de Calor Urbana é no conforto térmico e saúde da população, sendo assim, a identificação de morfologias urbanas seguindo um padrão pré-estabelecido por Stewart & Oke (2012) bem como a cobertura do solo, fazem com que essas áreas já sejam eleitas para coleta de dados climáticos de forma continuada, e assim, auxiliam na caracterização da distribuição de ICU em Campo Grande – MS.

REFERÊNCIAS

BECHTEL, B.; ALEXANDER, P. J.; BOHNER, J.; CHING, J.; CONRAD, O.; FEDDEMA, J.; G. MILLS, G.; SEE, L.; STEWART, I. D. Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. **Isprs International Journal of Geo-Information**. V. 4, n. 1, p. 199-219, 2015.

BECHTEL, B.; SEE, L.; GERALD, M.; FOLEY, M. Classification of Local Climate Zones Using SAR and Multispectral Data in an Arid Environment. **Ieee Journal**

of **Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**. v. 9, n.7, p.3097-3105, 2016.

CARDOSO, R.; AMORIM, M. (2017). **Estimativa da distribuição espacial da temperatura do ar com base em zonas climáticas locais (LCZ) e modelos de regressão**. Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT), n. 12 (dezembro). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, p. 75-99, dx.doi.org/10.17127/got/2017.12.004

DAVENPORT, A. G.; GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R.; WIERINGA, J. Estimating the roughness of cities and sheltered country. 12ª Conferência em Climatologia Aplicada, Asheville, **American Meteorological Society**. V. 4B, n.2, p. 96–99, 2000.

EARTH EXPLORER. 2015. **Imagens Landsat 8**. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 10 de junho de 2018.

EMMANUEL, R.; LOCONSOLE, A. Green infrastructure as an adaptation approach to tackling urban overheating in the Glasgow Clyde Valley Region, UK. **Landscape and Urban Planning**. V. 138, p. 71-86, 2015. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2015.02.012.

GELETIC, J.; LEHNERT, M. GIS-based delineation of local climate zones: The case of medium-sized Central European cities. **Moravian Geographical Reports**. V. 24, n.3, p. 2-12, 2016.

GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R. Heat Storage in Urban Areas: Local-Scale Observations and Evaluation of a Simple Model. **Journal of Applied Meteorology**. V. 38, n. 7, p. 922-940, 1999.

HEBBERT e JANKOVIC. Cities and Climate Change: The Precedents and Why They Matter. **Urban Studies Journal**, v. 50 (7) p. 1332–1347, 2013. doi: 10.1177/0042098013480970.

MASSON, V. Adapting cities to climate change: A systemic modeling approach. **Urban Climate**, Paris, v. 10, p. 407-429, 2014.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; and MAYER, H., 2007: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - application of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, 51(4), 323–334. doi: 10.1007/s00484-006-0061-8.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; and MAYER, H., 2010: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, 54(2), 131–139. doi: 10.1007/s00484-009-0261-0.

MIDDLE, A.; HÄB, K.; BRAZEL, A. J.; MARTIN, C. A.; GUHATHAKURTA, S. **Impact of urban design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones**. Landscape and Urban Planning. 122 (2014) p. 16-28.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuen & Co. 2nd edn. 1987, 435p.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**, 2018.

REIS, A. L. **Influência da rugosidade do terreno para o perfil vertical do vento**. 2016. 77f. Monografia (Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas). Universidade Federal Itajubá - UNIFEI, Itajubá.

REVISÃO DO PLANO DIRETOR MUNICIPAL DE CAMPO GRANDE-MS, URBTEC, 2016. Disponível em: <<http://www.campogrande.ms.gov.br/planurb/wp-content/uploads/sites/18/2017/05/Relatório-P2-CG-analise-da-situacao-atual.pdf>>. Acesso em 28 jun. 2018.

STEWART, I. D. **Redefining the urban heat island**. 2011-a. 368f. Tese (Doutorado em Filosofia). The Faculty of Graduate Studies, The University of British Columbia, Vancouver.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. **American Meteorological Society**, v. 93, p. 1879–1900, 2012. doi: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1

