

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS E GEODINÂMICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Nº 215**

**EVOLUÇÃO TEMPORAL DA TEMPERATURA EM ÁREAS COM  
TECIDOS URBANOS DISTINTOS NO DISTRITO FEDERAL**

**Catarina Balduino Sollaci**

**Brasília, DF**

**2023**

# **EVOLUÇÃO TEMPORAL DA TEMPERATURA EM ÁREAS COM TECIDOS URBANOS DISTINTOS NO DISTRITO FEDERAL**

**Área de concentração: Geoprocessamento e Análise Ambiental**

**Orientador: Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geociências Aplicadas; Área de Concentração: Geoprocessamento e Análise Ambiental.**

**Brasília, DF**

**2023**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

BS688e Balduino Sollaci, Catarina  
EVOLUÇÃO TEMPORAL DA TEMPERATURA EM ÁREAS COM TECIDOS  
URBANOS DISTINTOS NO DISTRITO FEDERAL / Catarina Balduino  
Sollaci; orientador Gustavo Macedo de Mello Baptista. --  
Brasília, 2023.  
59 p.

Dissertação(Mestrado em Geociências Aplicadas) --  
Universidade de Brasília, 2023.

1. Temperatura urbana. 2. Morfologia Urbana. 3.  
Sensoriamento Remoto. I. Macedo de Mello Baptista, Gustavo  
, orient. II. Título.

*"When we deal with cities we are dealing with life at its most complex and intense. Because this is so, there is a basic esthetic limitation on what can be done with cities: A city cannot be a work of art."*

Jane Jacobs

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu professor orientador, Gustavo, por me acompanhar em todo o processo do meu mestrado. Seu apoio e orientação foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico.

Gostaria também de expressar minha profunda gratidão aos meus pais, Luciana e Cláudio, por serem a minha base sólida e por todo o amor, incentivo e suporte que sempre me deram ao longo dessa jornada.

E um agradecimento especial ao meu noivo, Pedro, por ter sido meu companheiro constante, me encorajando e me motivando durante esse período desafiador.

Também quero expressar minha gratidão à minha chefe Luciana, que com sua vasta experiência soube me fornecer valiosos conselhos e dicas que foram fundamentais para o meu trabalho e para o meu desenvolvimento profissional.

Sou extremamente grata a todos vocês pelo apoio incondicional e por fazerem parte da minha conquista no mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

## RESUMO

A falta de planejamento de cidades, ocupação desordenada, pequena quantidade de verde urbano e densa morfologia construtiva podem resultar em altas temperaturas urbanas, que podem gerar impactos significativos na saúde humana, no consumo de energia e no meio ambiente. O fenômeno Ilhas de Calor possui influência na temperatura que se superpõe a qualquer variação climática de escala regional ou mesmo global. O estudo avalia a evolução temporal da temperatura em cidades do Distrito Federal que possuem ocupação e morfologia urbana distintas em escala local. Para isso foram selecionadas cinco regiões com diferenças construtivas, morfológicas e sociais para analisar o comportamento da temperatura ao longo de 20 anos. Foi utilizada a linguagem de programação *Python* no ambiente *Google Colab*, associado ao *Google Earth Engine code editor* (GEE). Os dados de temperatura de superfície foram obtidos pelo sensor MODIS. O comportamento da temperatura das regiões estudadas se mostrou semelhante entre si, apesar das diferenças de ocupação do solo. No entanto, regiões mais densamente ocupadas e com menores porções de vegetação apresentaram temperaturas mais elevadas. Núcleos urbanos planejados tendem a ser mais agradáveis termicamente, entretanto, o planejamento não garante o bem-estar social, pois centros urbanos socioeconomicamente vulneráveis podem ser planejados, mas segregados socio espacialmente, refletindo na qualidade de vida e desconforto térmico das populações. Assim, o conhecimento do histórico socioespacial é de grande importância em estudos climatológicos.

**Palavras-chave:** Temperatura urbana; Morfologia Urbana; Sensoriamento Remoto.

## ABSTRACT

The lack of urban planning, disorderly occupation, small amount of green city spaces and dense constructive morphology can result in high urban temperatures, which can cause significant impacts in human health, energy consumption and on the environment. The Urban Heat Island phenomenon has an influence on temperature that supersedes any regional or even global-scale climatic variations. Thus, the study aims to assess temperature evolution over time, in Brasília's Federal District cities with distinct occupations and urban morphologies on a local scale. Five regions with constructive, morphologic and social differences were selected to analyze the temperature behavior over 20 years. Python programming language in the Google Colab platform, associated with Google Earth Engine Code Editor (GEE) were used. Temperature data collection were obtained by the MODIS sensor. The behavior of temperature in the studied regions showed to be similar between themselves despite the differences in ground occupation. However, more densely occupied regions with smaller portions of vegetation showed higher temperatures. Planned urban centers tend to be more thermally pleasant. Nonetheless, the planning doesn't ensure the social welfare, because socioeconomically vulnerable urban centers may be planned, but socio-spatially segregated, reflecting on the quality of life and thermal discomfort of populations. So, the historical sociospatial knowledge is of great importance in climatological studies.

**Key words:** Temperature; Urban Morphology; Remote sensing.

## GLOSSÁRIO

No âmbito do presente documento, adotam-se as seguintes definições:

**APP** – Área de Preservação Permanente

**DF** – Distrito Federal

**ENOS** - El Niño Oscilação Sul

**GEE** – Google Earth Engine

**ICU** – Ilhas de Calor Urbana

**LCZ** – *Local Climate Zones* (Zona climática local).

**LST** – Land Surface Temperature (Temperatura de Superfície)

**MDE** – Modelo Digital de Elevação

**MSPW** - Mansões Suburbanas Park Way

**ONI** - *Oceanic Niño Index*

**RA** – Região Administrativa

**SIG** – Sistema de Informações Geográficas

**SMPW** - Setor de Mansões Park

**SVF**- *Sky View Factor* (Fator de Visão do Céu)

**SR** – Sensoriamento Remoto

## SUMÁRIO

<b>FICHA CATALOGRÁFICA</b> .....	<b>I</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>III</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>GLOSSÁRIO</b> .....	<b>VI</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>VII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2. HIPÓTESE, OBJETIVO E JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1. HIPÓTESE</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2. Pergunta de pesquisa</b> .....	<b>13</b>
<b>2.3. Objetivo</b> .....	<b>13</b>
2.3.1. Objetivos específicos.....	13
<b>2.4. Justificativa e importância do tema</b> .....	<b>13</b>
<b>3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>PARTE 1</b> .....	<b>16</b>
<b>4. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
<b>4.1. Clima Urbano</b> .....	<b>17</b>
4.1.1. Aquecimento urbano e ilha de calor.....	17
4.1.2. Morfologia urbana.....	18
4.1.3. Verde urbano .....	19
4.1.4. Benefícios da vegetação urbana .....	20
4.1.5. Fenômenos que influenciam o clima .....	20
<b>4.2. Sensoriamento Remoto</b> .....	<b>21</b>
4.2.1. Sensoriamento Remoto Termal .....	21
4.2.2. Google Earth Engine .....	22
4.2.3. Classificação da paisagem urbana .....	23
<b>4.3. O sistema de classificação LCZ</b> .....	<b>23</b>
4.3.1. Resultados de trabalhos anteriores .....	26
4.3.2. Limitações do sistema LCZ.....	27
<b>4.4. Contextualização da área de estudo</b> .....	<b>28</b>
4.4.1. Uso e ocupação do solo no Distrito Federal – breve histórico .....	28
4.4.2. O plano piloto e suas escalas .....	29
4.4.3. A forma urbana do Distrito Federal .....	31
4.4.4. Clima no DF .....	32
<b>PARTE 2</b> .....	<b>35</b>

<b>REREFÊNCIAS.....</b>	<b>36</b>
<b>5. ANEXO .....</b>	<b>40</b>

## LISTA DE FIGURAS

### PARTE 1

Figura 1: Estrutura das classes do sistema LCZ.....	24
Figura 2: Definição das classes do sistema LCZ.....	25
Figura 3: Distribuição espacial das LCZs sobre a área urbana do Distrito Federal. ....	27
Figura 4: Localização do Distrito Federal no Brasil. ....	28
Figura 5: Escalas descritas pelo urbanista Lúcio Costa no Plano Diretor.....	30
Figura 6: Escalas do clima urbano <i>versus</i> escalas do desenho urbano. ....	31
Figura 7: Escalas climáticas verticais. ....	31
Figura 8: Diversidade de Padrões Morfológicos do Distrito Federal.....	32
Figura 9: Gráfico mensal precipitação acumulada. Estação Brasília (A001).....	33
Figura 10: Gráfico mensal de temperatura média. Estação Brasília (A001).....	33
Figura 11: Gráfico mensal de umidade relativa: Estação Brasília (A001). ....	34

### PARTE 2

Figura 1: Escalas do clima urbano versus escalas do desenho urbano. ....	05
Figura 2: Diversidade de Padrões Morfológicos do Distrito Federal.....	06
Figura 3: Clima do Distrito Federal segundo classificação climática de Köppen. ....	06
Figura 4: Média histórica de chuva acumulada do Distrito Federal. ....	07
Figura 5: Gráfico mensal de temperatura média e precipitação acumulada. Estação Brasília (A001).....	08
Figura 6: Mapa hipsométrico do Distrito Federal. ....	09
Figura 7: Mapa de Declividade do Distrito Federal.....	09
Figura 8: Mapa de localização das regiões de Ceilândia, Sol Nascente/Pôr do Sol, Setor Gregário, Lago Sul e Park Way em relação ao Distrito Federal.....	11
Figura 9: Classificação das regiões de Ceilândia, Sol Nascente/Pôr do Sol, Setor Gregário, Lago Sul e Park Way nas Zonas Climáticas Locais.....	13
Figura 10: Distribuição de pontos e características dos pixels analisados nas regiões de Ceilândia, Sol Nascente/Pôr do Sol, Setor Gregário, Lago Sul Park Way do Distrito Federal .....	14
Figura 11: – Gráficos de temperaturas das regiões de Ceilândia, Sol Nascente/Pôr do Sol, Setor Gregário, Lago Sul e Park Way no Distrito Federal ao longo de 20 anos (2003 a 2022). ....	15
Figura 12: Gráfico do comportamento da temperatura nas regiões de Ceilândia e Sol Nascente/Pôr do Sol ao longo de 20 anos (2003 a 2022) separados por período do dia. ....	16
Figura 13: Gráfico do comportamento da temperatura nas regiões do Lago Sul, Park Way e Setor Gregário ao longo de 20 anos (2003 a 2022) separados por período do dia. ....	17
Figura 14: Gráficos de temperaturas das regiões de Ceilândia, Sol Nascente/Pôr do Sol, Setor Gregário, Lago Sul e Park Way no Distrito Federal para os anos de 2019 a 2022. ....	18
Figura 15: Gráficos de temperaturas das regiões de Ceilândia e Setor Gregário no Distrito Federal.....	19

### **LISTA DE TABELAS – PARTE 1**

Tabela 1: Classes do Sistema LCZ (Stewart e Oke, 2012) .....	24
Tabela 2: Classes do sistema LCZ no Distrito Federal .....	26

### **LISTA DE QUADROS – PARTE 2**

Tabela 1: Classes do sistema LCZ no Distrito Federal .....	04
Tabela 2: Velocidade dos ventos: média anual em cada direção da série 2001-2013/INMET para Brasília .....	08

## 1. INTRODUÇÃO

As cidades têm passado por mudanças em seus padrões de urbanização e, na última década, o crescimento e desenvolvimento sustentável se tornou um dos principais desafios. Acredita-se que a população urbana mundial até 2050 será o dobro da atual, (ONU, 2015), o que destaca a contínua transformação do processo de urbanização no século XXI. No Brasil, a população urbana já é maior do que a rural e continua a crescer. Dentre os 17 municípios com mais de um milhão de habitantes, 14 são capitais estaduais e esses municípios abrigam mais de 20% da população do país. O município de São Paulo é o mais populoso do país com cerca de 12,25 milhões de habitantes, seguido pelo Rio de Janeiro (6,72 milhões), Brasília (3,0 milhões) e Salvador (2,9 milhões), (IBGE, 2019). Como resposta ao crescimento populacional, estão sendo construídos mais edifícios e infraestruturas para atender à demanda por moradia, mobilidade, consumo, serviços e lazer (WERNECK, 2022).

Outros problemas relacionados à expansão urbana incluem as várias formas de desigualdades na ocupação do território, frequentemente agravadas pela falta de planejamento. Além disso, com a maioria das atividades humanas concentradas nas áreas urbanas, há uma pressão cada vez maior no consumo de solo, energia e água, com implicações também no campo térmico das cidades. Com isso, as cidades têm se tornado cada vez mais quentes e desconfortáveis termicamente (WERNECK, 2022).

A temperatura nas áreas urbanas pode ser maior do que nas áreas rurais circundantes devido a uma série de fatores, como a numerosa presença de edifícios, grande quantidade de pavimentos impermeáveis e falta de vegetação. O clima urbano é definido como uma condição distinta criada pelas cidades em diferentes escalas de análise. É influenciado tanto pelas alterações climáticas de outras escalas como pela forma como as pessoas vivem nas cidades. Por isso, é importante entender como as mudanças nos padrões de urbanização podem afetar o clima urbano (WERNECK, 2022).

A temperatura urbana pode ser estudada a partir de sua observação e análise ao longo do tempo, por meio do uso de técnicas de sensoriamento remoto termal, combinado com o sistema de classificação urbana (*Local Climate Zones - LCZ*) e os dados de temperatura de superfícies terrestre (*Land surface temperature - LST*) do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) obtidos pela plataforma *Google Earth Engine (GEE)* (TRENTIN et al., 2011).

O Distrito Federal (DF) é composto por 33 Regiões Administrativas (RAs) que foram construídas e expandidas ao longo de aproximadamente 70 anos (JATOBÁ, 2017). Sofreu grande especulação socioeconômica e enorme imigração de pessoas. Com isso houve um crescimento demográfico desordenado e muito acelerado, resultando na ocupação irregular do território. Algumas das regiões foram planejadas, no entanto, em outras o crescimento urbano ocorreu sem planejamento prévio (MANIÇOBA, 2020). Criou-se então uma dicotomia na cidade, por ser ao mesmo tempo planejada e possuir ocupações irregulares. Assim, as áreas urbanas do DF são muito diversas em termos de estrutura urbana.

Em estudos do clima urbano, a diferenciação entre áreas urbanas é dificultada devido ao grande número de alvos da cidade, tornando mais difícil caracterizar a estrutura urbana. Assim, os dados de superfície e os dados de temperatura são identificados em escalas diferentes. Normalmente os dados de superfície são identificados em escala maiores que os dados de temperatura, dificultando o cruzamento entre eles. Por isso se faz necessário um tipo de classificação urbana mais simplificado, para que a análise de dados seja facilitada.

A classificação LCZ é um sistema de classificação supervisionado que tem o objetivo de padronização da superfície urbana. A padronização torna a comparação dos resultados dos estudos climáticos mais facilmente alcançáveis. O sistema de classificação LCZ é utilizado para categorizar áreas urbanas em diferentes zonas climáticas com base em suas características físicas e morfológicas. O uso desse sistema combinado com os dados de LST permite uma análise mais precisa dos efeitos da ocupação e do desenho urbano na temperatura.

Werneck (2022) classificou a macrozona urbana do Distrito Federal a partir da estrutura espacial das *Local Climate Zones* (LCZs) utilizando imagens de satélite, e ferramentas de processamento de dados de temperatura de superfície e índices de vegetação e umidade. Identificou que as temperaturas de superfície são mais elevadas nas áreas urbanas com menor presença de vegetação e menor teor de umidade na vegetação. Com esses resultados, a classificação LCZ se mostrou uma ferramenta útil para monitorar e promover uma hierarquia de áreas a serem priorizadas na implementação de estratégias de mitigação de altas temperaturas.

O presente trabalho complementa as análises com informações espectrais para o período noturno e faz a análise das diferenças de temperatura entre zonas com diferentes estruturas urbanas, comparando LCZs com diferentes densidades construídas, arranjos de edificações e vegetação, além de comparar áreas urbana planejadas e não planejadas. Para isso, avalia a evolução temporal de 20 anos (2003 a 2022) da temperatura em cidades do Distrito Federal que possuem ocupação e desenho urbano distintos.

## 2. HIPÓTESE, OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

### 2.1. HIPÓTESE

Regiões urbanas planejadas apresentam comportamentos térmicos diferentes de regiões com crescimento espontâneo.

### 2.2. Pergunta de pesquisa

Como diferentes LCZ respondem em termos de temperatura, ao longo de diferentes escalas de tempo?

### 2.3. Objetivo

Avaliar a variação da temperatura ao longo do tempo em diferentes cidades do Distrito Federal, levando em consideração suas características de ocupação e planejamento urbano.

#### 2.3.1. Objetivos específicos

- Verificar o comportamento diurno da temperatura em regiões urbanas planejadas e não planejadas ao longo do tempo.
- Analisar o comportamento da temperatura de superfície no âmbito da classificação LCZ.

### 2.4. Justificativa e importância do tema

Brasília foi originalmente projetada para comportar 500.000 habitantes até os anos 2000. Ao longo do tempo, a cidade foi alvo de grande especulação socioeconômica e enorme imigração de pessoas egressas de outras regiões do Brasil. Houve um crescimento demográfico desordenado e muito acelerado, resultando na ocupação irregular do território. Para absorver o intenso fluxo migratório direcionado à capital, foram criadas as “cidades satélites”, hoje denominadas Regiões Administrativas (RA). Atualmente, há 33 RAs, ou seja, 33 núcleos urbanos, sendo que algumas das RAs possuem planejamento urbano e outras são resultantes de invasões. Após as invasões, muitas dessas Ras foram regularizadas e fixadas no local invadido. Portanto o DF é um distrito polinucleado, onde os núcleos possuem tecidos urbanos muito diversos entre si (Maniçoba, 2020).

A análise da evolução temporal da temperatura em áreas urbanas de diferentes morfologias é um tema de grande importância. A falta de planejamento das cidades, ocupação desordenada, quantidade de verde urbano e tipo de morfologia construtiva podem resultar em altas temperaturas urbanas, que geram impactos significativos na saúde humana, no consumo de energia e no meio ambiente.

Além disso, esse tema de estudo pode fornecer informações valiosas para o planejamento urbano de qualidade. Compreender como a temperatura varia em diferentes áreas da cidade, pode ajudar planejadores a desenvolver estratégias para mitigar os efeitos das ilhas de calor urbanas, bem como desenvolver soluções para tornar as cidades mais habitáveis e confortáveis.

### 3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação é dividida em duas partes. A primeira parte cobre a revisão de literatura para fundamentação teórica do trabalho e aborda: os conceitos de clima urbano como tema principal do estudo; o sensoriamento remoto com foco em técnica e aplicações voltadas ao clima; o sistema utilizado como classificação da paisagem e a descrição da área de estudo numa perspectiva histórica, urbanística e climatológica.

A segunda parte o constitui artigo de título: **EVOLUÇÃO TEMPORAL DA TEMPERATURA EM ÁREAS COM TECIDOS URBANOS DISTINTOS NO DISTRITO FEDERAL**. O artigo foi submetido à Revista Portuguesa de Geografia FINISTERRA, portanto foi construído de acordo com o *template* da revista. Inclui o mesmo conteúdo abordado na primeira parte, porém de forma sucinta e acresce dos métodos, resultados e discussão.

# PARTE 1

## 4. REVISÃO DA LITERATURA

### 4.1. Clima Urbano

Estudos sobre o clima em áreas urbanas já foram desenvolvidos por diversos pesquisadores. Hoje sabemos que os climas urbanos possuem particularidades que os diferenciam das áreas rurais ou suburbanas. As temperaturas observadas nas cidades tendem a ser mais altas, assim como o grau de poluição do ar. Da mesma forma, os padrões de precipitação nos centros urbanos são diferentes dos observados em áreas não urbanas. Isso porque as alterações que as cidades provocam no ambiente servem para consolidar um clima propriamente urbano (WERNECK, 2022). No entanto, mais pesquisas são necessárias para entender os impactos da urbanização no clima e desenvolver estratégias eficazes para mitigar esses impactos.

A urbanização pode levar ao aumento das temperaturas da superfície, aumento da poluição atmosférica, mudanças nos padrões de precipitação e alterações nos ciclos hidrológicos.

A temperatura do ar em áreas urbanas pode ser até 11 °C mais quentes do que as áreas rurais circundantes devido ao efeito de ilha de calor urbana. Esse efeito é causado pela grande concentração de superfícies que absorvem calor, como edifícios e pavimentos, bem como pela falta de vegetação (TZAVALI et al, 2015).

As áreas urbanas têm níveis mais altos de poluição do ar, incluindo material particulado e ozônio, em comparação com áreas em seus arredores. Isso se deve à concentração de emissões veiculares e industriais nas cidades, bem como à falta de processos naturais para dispersar os poluentes. O efeito de Ilhas de Calor Urbana desestabiliza a atmosfera inferior e aumenta a ventilação área urbana (favorecendo assim a dispersão de poluentes de áreas urbanizadas para suas vizinhanças imediatas). O aumento das emissões de aerossóis das cidades resultam em acumulação de poluentes de superfície (QUIAN et al, 2022).

Os padrões de precipitação também são afetados pela urbanização. Em áreas urbanas existe frequência maior de eventos de chuvas fortes e menor frequência de eventos de chuvas leves em comparação com áreas não urbanas. Acredita-se que isso seja causado pela alteração das características da superfície terrestre e aumento do aquecimento atmosférico, além do efeito de ilha de calor urbana (QUIAN et al, 2022).

#### 4.1.1. Aquecimento urbano e ilha de calor

O efeito de ilha de calor urbana é o fenômeno que explica a tendência que as áreas urbanas têm de ser mais quentes do que as áreas rurais circundantes devido às atividades humanas realizadas em solo urbano. A construção de edifícios, drástica mudança no uso do solo e emissões de gases provenientes do transporte e indústria, são algumas das atividades humanas que contribuem para o aumento da temperatura urbana (TZAVALI et al, 2015).

O efeito de ilha de calor urbano é causado por uma combinação de fatores, incluindo as propriedades físicas das superfícies urbanas, que tendem a absorver e reter calor, e os efeitos de fontes de calor antropogênicas, como consumo de energia para aquecimento, resfriamento e iluminação. A vegetação possui propriedades que afetam seu comportamento térmico, como a transpiração, a capacidade de reter água nas folhas e a estrutura física das plantas. Esses fatores influenciam a capacidade da vegetação de absorver, refletir e liberar energia térmica. As superfícies impermeáveis, como asfalto, tendem a ter um comportamento térmico diferente da vegetação. O asfalto possui uma alta capacidade de absorver energia solar devido às suas propriedades escuras e à baixa refletividade. Isso resulta em um aumento significativo da temperatura da superfície, especialmente em áreas urbanas densamente construídas. Além disso, a dinâmica atmosférica desempenha um papel importante no efeito de ilha de calor urbana, reterdo poluentes e calor perto da superfície em áreas urbanas, o que pode exacerbar o efeito de aquecimento (TZAVALI et al, 2015).

O fenômeno de ilha de calor pode ter uma série de impactos negativos sobre o meio ambiente. Pode acentuar as ondas de calor, aumentar o consumo de energia para resfriamento e levar à poluição do ar e a outros problemas ambientais. Também pode ter impactos negativos na vegetação e na vida selvagem, por exemplo, alterando a distribuição e abundância de certas espécies e alterando o tempo de crescimento e reprodução das plantas. Pode aumentar o risco de inundações repentinas e escoamento de águas pluviais, devido ao aumento da precipitação resultante do aumento do calor urbano (TZAVALI et al, 2015).

#### 4.1.2. Morfologia urbana

A morfologia urbana é o estudo do processo de configuração da forma e da estrutura urbana. Analisa o *layout*, organização e *design* das cidades e como elas se transformam ao longo do tempo. Possui um campo de atuação interdisciplinar e se baseia em conceitos e métodos do planejamento urbano, arquitetura, geografia e história (MOUDON, 1997). Pode ser analisada em diferentes escalas, desde o edifício individual até a rede viária, bairro, cidade e até a região. Abrange estudos de uso e ocupação do solo, tipologias de construção, sistemas de transporte e a relação entre os ambientes naturais e construídos (OLIVEIRA, 2001).

A forma urbana de uma área urbana pode influenciar o microclima e os padrões de vento, que podem afetar na qualidade do ar e na dispersão de poluentes. Pode afetar a temperatura da superfície das áreas urbanas, reduzindo efeitos de ilha de calor, fornecendo sombreamento e reduzindo a quantidade de superfícies de alta absorção de calor, conseqüentemente melhorando o conforto térmico para a população. A densidade do tecido urbano, a presença de espaços verdes, a altura dos edifícios e os materiais usados na construção civil são algumas das características da morfologia urbana que podem afetar a temperatura da superfície. A morfologia urbana também pode ser usada para identificar padrões que podem ser usados para fazer previsões sobre o crescimento urbano futuro. (BRANDÃO E BARBOSA, 2023).

A pesquisa em morfologia urbana ajuda a entender como as cidades evoluíram ao longo do tempo e como diferentes fatores moldaram sua forma física. Auxilia na informação e planejamento de projetos urbanos, fornecendo uma melhor compreensão das características físicas e funcionais de diferentes áreas urbanas e como elas podem ser melhoradas (OLIVEIRA, 2001). O estudo morfológico das cidades aliado ao uso de SIG (sistema de informação geográfica), tem o potencial de ajudar na compreensão dos complexos processos de urbanização que podem ser usados para aprimorar o estudo das cidades, além de melhorar o *design* e o planejamento das mesmas, fornecendo estratégias para promover a criação de ambientes urbanos mais habitáveis e sustentáveis.

#### 4.1.3. Verde urbano

As áreas verdes urbanas são caracterizadas como locais abertos de recreação, agregação e lazer que proporcionam interação de atividades humanas. A vegetação urbana pode ser definida de diversas maneiras diferentes. Para Oliveira (1996) o conceito de áreas verdes urbanas, deve descrever suas estruturas e enfatizar a importância que elas têm em termos de suas funções (ecológicas, estéticas, econômicas e sociais). Em seu trabalho o autor definiu essas áreas como:

[...] áreas permeáveis (sinônimos de áreas livres), públicas ou não, com cobertura vegetal predominantemente arbórea ou arbustiva (excluindo-se as árvores no leito das vias públicas) que apresentem funções potenciais capazes de proporcionar um microclima distinto no meio urbano em relação à luminosidade, temperatura e outros parâmetros associados ao bem-estar humano (funções de lazer); com significado ecológico em termos de estabilidade geomorfológica e amenização da poluição e que suporte uma fauna urbana, principalmente aves, e fauna do solo (funções ecológicas); representando também elementos esteticamente marcantes na paisagem (função estética), independentemente da acessibilidade a grupos humanos ou da existência de estruturas culturais como edificações, trilhas, iluminação elétrica, arruamento ou equipamentos afins; as funções ecológicas, sociais e estéticas poderão redundar entre si ou em benefícios financeiros (funções econômicas). (OLIVEIRA, 1996, p. 17).

Para Maciel e Barsosa (2015), às diversas nomenclaturas que são utilizadas como sinônimos de áreas verdes devem ser separadamente definidas. Os autores diferenciam “Fragmento Urbano”, “Áreas verdes” e “Fragmento Remanescente”. Para fragmento urbano, os autores definem:

[...] toda área que sofreu corte e separação de uma floresta, tendo sua composição florística primária alterada, apresentando-se em estágio sucessional secundário, tendo inserção proposital ou não de plantas exóticas, e que esteja próxima ou inserida em um ambiente urbano [...]. (MACIEL e BARBOSA, 2015).

Para áreas verdes, os autores definem:

[...] locais de vegetação arbórea ou não inseridas ou presentes em ambiente urbano como praças, parques, terrenos baldios, hortas e até mesmo cemitérios, geralmente com o objetivo de ornamentar esses locais, proporcionar lazer e melhorar a qualidade de vida da população [...]. (MACIEL e BARBOSA, 2015).

Para fragmento remanescente, os autores definem:

[...] uma vegetação que sobrou de uma área que não sofreu corte, apresentando sucessão avançada e mantendo-se muito próxima das características naturais do bioma

ao qual pertencia originalmente. (MACIEL e BARBOSA, 2015).

Para este trabalho, o termo “vegetação urbana” será tratada como sinônimo de qualquer tipo de vegetação que esteja presente em solo urbanizado e todas as definições descritas acima serão aceitas para definir o mesmo termo.

#### 4.1.4. Benefícios da vegetação urbana

A vegetação urbana promove diversos benefícios nas cidades. Desempenha um papel crucial na melhoria das condições ambientais, sociais e econômicas das áreas urbanas e na mitigação de impactos ambientais negativos. Também desempenha serviços ecossistêmicos e melhoria na qualidade de vida das pessoas. Os benefícios ambientais dos espaços verdes urbanos incluem a melhoria da qualidade do ar, redução do efeito de ilha de calor urbano e redução do escoamento superficial de águas pluviais. Promovem a redução da temperatura, elevando a qualidade de vida da população. Desempenham melhorias nas condições sociais e econômicas como o aumento do valor das propriedades e a promoção da coesão social. Os serviços ecossistêmicos fornecidos pelos espaços verdes urbanos incluem o sequestro de carbono, a purificação da água e o aumento de habitat da vida selvagem. Além disso, os espaços verdes urbanos podem reduzir o estresse, promover espaços favoráveis à atividade física e melhoria da saúde mental, sendo benéfico para a saúde e o bem-estar humano. Além disso, deixam as cidades visualmente mais agradáveis. O verde urbano, portanto, possui funções social, ecológica e estética (NUCCI, 2001; SENIS et al., 2015).

#### 4.1.5. Fenômenos que influenciam o clima

Existem várias condições adversas do clima que afetam o planeta de diferentes maneiras. Furacões, ciclones, inundações, tempestades de neve e ondas de calor são alguns exemplos de condições adversas que podem ter impactos significativos na temperatura e índices pluviométricos. Outro fenômeno que afeta o clima global é o *El Niño* Oscilação Sul (ENOS).

O fenômeno atmosférico-oceânico conhecido como ENOS compreende tanto o *El Niño* quanto a *La Niña*, que ocorrem no oceano Pacífico Equatorial e na atmosfera adjacente. Durante o ENOS, o oceano Pacífico Equatorial pode se tornar mais quente (*El Niño*) ou mais frio (*La Niña*) do que a média histórica, resultando em interferências nos efeitos globais na temperatura e precipitação. Essas mudanças na temperatura da superfície do mar podem ter efeitos significativos no clima global. Por exemplo, durante um *El Niño*, as áreas do Pacífico Oriental, como a América do Sul, podem experimentar chuvas intensas, secas mais severas, alterações na temperatura e nos padrões dos ventos (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [INPE], 2023).

O *El Niño* e *La Niña* podem ocorrer de forma forte, moderada e fraca. De acordo com o índice ONI – Oceanic Niño Index, desde 2000, observam-se ocorrências do fenômeno entre os anos 2002/2003, 2004/2005; 2009/2010; 2015/2016 e 2018/2019. Dentre os anos citados, as ocorrências de maior intensidade foram observadas em

2015/2016 e 2009/2010 (National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA], 2023).

Outro fenômeno que afetou a temperatura global foi a pandemia da Covid-19. A pandemia alterou diretamente as atividades humanas devido ao confinamento forçado das populações. Foi estabelecido a quarentena nas cidades, houve diminuição do transporte e fechamento de fábricas e indústrias. Essas atividades são algumas das responsáveis pelo aumento da temperatura da superfície terrestre, ou no inglês *Land Surface temperature* (LST), no entanto, elas foram reduzidas pela propagação do coronavírus, no final de 2019 e início de 2020. MahdaviFard et al indicam que a temperatura terrestre na cidade de Asaluye no Iran, diminuiu em 2020 em comparação aos anos pré-Covid-19 e após a normalização das condições epidêmicas, ou seja, no período pós-corona, devido à redução das restrições de quarentena, a temperatura aumentou em relação ao período de pandemia (MAHDAVIFARD et al, 2022). Shojaei et al apontam que a temperatura média da Terra caiu cerca de 0,3°C em comparação com 2019. No entanto, isso foi apenas uma diminuição temporária e de curto prazo causada pelas medidas de bloqueio global relacionadas à pandemia. A tendência geral para o ano foi um aumento na temperatura em comparação com o ano anterior, com um aumento de quase 0,2°C em relação às estimativas de 2019 (SHOJAEI et al, 2022).

## 4.2. Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto é a ciência que permite obter informações sobre a superfície terrestre, oceanos e atmosfera através da medição das propriedades físicas e químicas dos alvos por meio de sensores remotos. Essa técnica envolve a captação, aquisição e registro de dados por meio de sensores instalados em plataformas como satélites, aviões, drones ou torres de observação, que coletam informações sobre a energia eletromagnética refletida ou emitida pela superfície ou alvo. Os dados obtidos são processados para gerar imagens e mapas que podem ser usados em diversas áreas (FLORENZANO, 2011).

Existe uma grande variedade de aplicações e análises a partir do sensoriamento remoto devido à enorme diversidade de sensores e de imagens de satélite com diferentes características (CASTILLO, 2009). Pode ser aplicado no âmbito do estudo do clima das cidades, integrando dados de fontes, escalas e períodos diferentes.

### 4.2.1. Sensoriamento Remoto Termal

O sensoriamento remoto térmico é o uso de radiação eletromagnética na porção infravermelha de ondas longas do espectro para detectar remotamente a temperatura de um objeto ou superfície. Tem o potencial de medir a temperatura da superfície da Terra, atmosfera e oceanos e também a temperatura de estruturas feitas pelo homem, como edifícios e instalações industriais (VOOGT e OKE, 2003).

O tipo mais comum de sensoriamento remoto térmico é chamado de sensoriamento remoto térmico passivo, no qual o sensor recebe apenas a radiação emitida pelo objeto ou superfície que está sendo medida. Esses sensores geralmente

estão a bordo de satélites ou aeronaves. Exemplos de sensoriamento remoto térmico passivo incluem o uso de câmeras infravermelhas térmicas, que podem fornecer imagens de alta resolução da superfície da Terra, e o uso de espectrômetros infravermelhos, que podem fornecer informações detalhadas sobre a temperatura e a composição da atmosfera. O sensoriamento remoto térmico ativo, por outro lado, usa um sensor que envia um feixe de energia e mede a energia refletida. Isso é usado para medir a temperatura da superfície e a emissividade da superfície (WERNECK, 2022).

O sensoriamento remoto térmico tem uma ampla gama de aplicações, incluindo: monitoramento e detecção de incêndios florestais; detecção e monitoramento de atividade vulcânica, pressupondo-se de sistemas sensores que atuam no infravermelho médio, ou seja, entre 3 e 5 micrômetros, que é a faixa para monitoramento de anomalias térmicas; o mapeamento de temperatura da superfície e saúde da vegetação; avaliação do desempenho térmico de edifícios e outras estruturas; monitoramento da saúde dos equipamentos industriais e identificação de potenciais problemas de manutenção; mapeamento da temperatura da superfície terrestre e marítima, utilizando a faixa do termal entre 8 e 14 micrômetros, que medem temperaturas normais.

Outras aplicações do sensoriamento remoto termal envolvem a associação de séries temporais da temperatura de superfície. Tais aplicações incluem: estudo de classificação do uso do solo; monitoramento de serviços ecossistêmicos; avaliação de albedo e umidade das superfícies; estudos de mitigação dos efeitos de ilhas de calor urbana, estresse térmico e eventos extremos.

#### 4.2.2. Google Earth Engine

*Google Earth Engine* (GEE), é uma plataforma baseada em nuvem utilizada para análises de dados de observação da terra. Ele permite que os usuários analisem, visualizem e gerenciem grandes quantidades de dados de satélite e outros dados geoespaciais. O *GEE Code Editor* é uma interface que permite aos usuários escrever, executar e salvar códigos em linguagens de programação, como o *Python*. O *Code Editor* fornece acesso a uma ampla variedade de fontes de dados, incluindo imagens de satélite, conjuntos de dados geoespaciais, dados meteorológicos e de temperatura. O *Code Editor* é uma ferramenta poderosa para realizar análises geoespaciais e é amplamente utilizado.

O GEE oferece um catálogo de dados do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). O MODIS é um instrumento de sensoriamento remoto que é transportado a bordo de dois satélites de observação da Terra da NASA: Terra e Aqua do Programa EOS (*Earth Observing System*) (TRENTIN et al., 2011). O MODIS é usado para coletar dados sobre a terra, o oceano e a atmosfera da Terra, incluindo informações sobre temperatura, umidade, vegetação, nuvens e aerossóis atmosféricos (partículas suspensas no ar).

Os dados do MODIS são usados para uma ampla gama de aplicações, incluindo monitoramento de desastres naturais, rastreamento do movimento de fumaça e outros poluentes, estudo do ciclo hidrológico da Terra e estudos sobre o clima e vegetação.

Estão disponíveis de forma gratuita e são recursos importantes para pesquisadores que trabalham na área ambiental.

Oferece produtos pré-processados de temperatura *land surface temperature* (LST) que podem ser obtidos mensalmente, fator importante na análise de temperatura em regiões com amplo contraste sazonal. Oferece também uma série histórica de dados de 20 anos, necessária em estudos de temperatura e possui resolução espacial condizente com a escala do estudo, por esses motivos foi escolhido como método de aquisição de dados.

#### 4.2.3. Classificação da paisagem urbana

As áreas urbanas são facilmente diferenciáveis das áreas rurais e/ou não urbanas no sentido de classificação de superfície e uso e ocupação do solo. A comparação entre essas áreas são o objeto de pesquisa da maioria dos estudos de clima urbano. No entanto, o estudo do clima urbano fica mais difícil quando o objeto de estudo é a diferença entre uma região urbana e outra, pois a diferenciação entre essas é menos facilmente caracterizada. Isso se dá devido ao grande número de alvos da cidade, tornando mais difícil caracterizar a estrutura urbana numa escala local ou microescala, por exemplo. Além disso, a rugosidade urbana traz uma diversidade que impede a formação de isotermas, devido aos diferentes pontos que atuam na emissão da temperatura de superfície. Assim, os dados de superfície e os dados de temperatura são identificados em escalas diferentes, dificultando o cruzamento entre eles. Por isso se faz necessário um tipo de classificação urbana mais simplificado.

O estudo de Stewart e Oke (2012) abordam a necessidade da utilização de métodos de classificação que buscam a evidenciação de padrões homogêneos nas cidades para auxiliar nos estudos de clima urbano. A padronização torna a comparação dos resultados dos estudos climáticos mais facilmente alcançáveis. Para este trabalho será utilizado como método de padronização da superfície urbana o sistema de classificação de zonas climáticas locais, tradução do inglês *Local Climate Zones* (LCZ), que parte do princípio de que a simples distinção entre o urbano e o rural não é suficiente para descrever o campo térmico urbano, pois esse é heterogêneo.

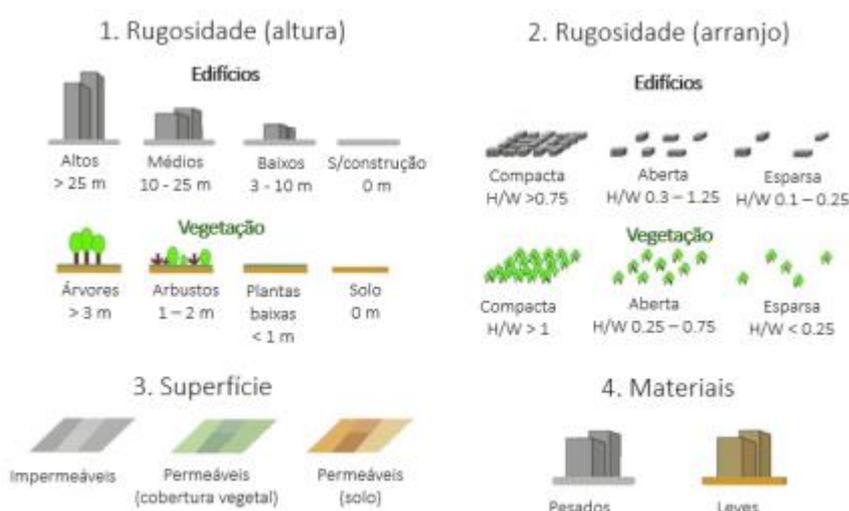
#### 4.3. O sistema de classificação LCZ

A classificação da paisagem urbana proposta por Stewart e Oke (2012) é uma progressão de outros estudos que tem por objetivo simplificar e padronizar tipologias urbanas a serem aplicadas no âmbito de estudo do clima urbano. Dessa forma é possível estabelecer relações entre a morfologia e a temperatura, além de ser uma maneira de comparar tipologias ou fazer comparação entre regiões dentro de uma mesma tipologia.

Os autores propõem um sistema de classificação denominado Zona Climática Local (*local climate zones* (LCZs)), que fornece estrutura para estudos climáticos urbanos e sistematizam a morfologia das cidades. A LCZ é um sistema de classificação supervisionado usado para descrever e agrupar regiões com características

semelhantes. Foi desenvolvido como uma forma de descrever e comparar os microclimas de diferentes áreas urbanas.

O sistema de classificação LCZ foi desenvolvido seguindo critérios para estruturar uma padronização, baseado em uma combinação de propriedades físicas que influenciam o clima local. Inclui a rugosidade da superfície, altura média dos edifícios, área de projeção dos edifícios, área impermeável e área permeável, além dos materiais utilizados (concreto, aço, vidro, pedra), arranjo dos edifícios e da vegetação (alto, médio ou baixo e denso, aberto ou espaçado) e a presença de corpos d'água ou outras características que possam afetar o balanço energético local **Figura 1**. A simplificação da forma urbana segue o princípio dos *canion* urbanos, que se baseiam na relação entre altura do edifício e a largura da via, além do fator de visão do céu ou *Sky View Factor* (SVF).



**Figura 1: Estrutura das classes do sistema LCZ.**

Fonte: Werneck (2022)

O sistema estabelece 17 classes distinguíveis, cada uma definida por características físicas específicas que influenciam o clima local, dentre essas, 10 classes possuem presença de edificação **Tabela 1** e **Figura 2**. Por exemplo, a LCZ 1 é caracterizada por edifícios de alta elevação, espaçamento pequeno entre edifícios e pouca vegetação, enquanto a LCZ 6 é caracterizada por edifícios de baixa elevação, densidade baixa ou moderada com vegetação esparsa.

**Tabela 1: Classes do Sistema LCZ (Stewart e Oke, 2012)**

Classes de ocupação urbana	Descrição
LCZ 1	Compacta de alta elevação
LCZ 2	Compacta de média elevação
LCZ 3	Compacta de baixa elevação
LCZ 4	Aberta de alta elevação
LCZ 5	Aberta de média elevação
LCZ 6	Aberta de baixa elevação
LCZ 7	Compacta com construções leves de baixa elevação

LCZ 8	Aberta com grandes construções de baixa elevação
LCZ 9	Esparsa com construções pequenas ou médias
LCZ 10	Indústria pesada
LCZ A	Árvores densas
LCZ B	Árvores esparsas
LCZ C	Vegetação arbustiva
LCZ D	Vegetação rasteira
LCZ E	Rocha exposta ou pavimentação
LCZ F	Solo exposto ou areia
LCZ G	Água

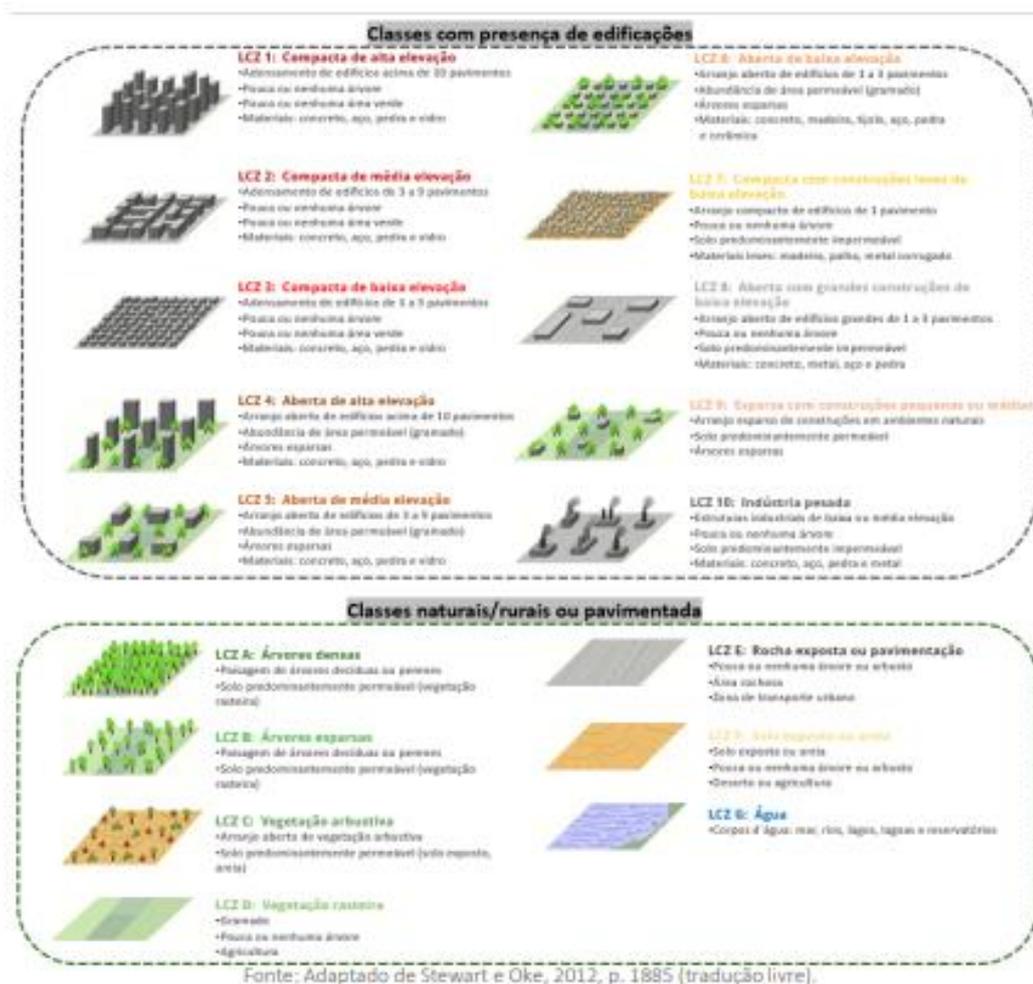


Figura 2: Definição das classes do sistema LCZ.

Fonte: Werneck (2022)

O sistema de classificação LCZ é aplicado em variadas situações, incluindo planejamento urbano e modelagem climática. É uma ferramenta útil para compreender as condições climáticas locais nas cidades e propor estratégias de mitigação do efeito de ilha de calor urbana e outros desafios relacionados ao clima em áreas urbanas.

Cada LCZ possui uma assinatura térmica típica, que se refere à faixa de temperatura normalmente observada naquela LCZ específica. A assinatura térmica de

uma LCZ é influenciada por uma combinação de fatores, incluindo o tipo de cobertura da superfície, a geometria da superfície e a presença de corpos d'água ou outras características que podem afetar o balanço energético local.

Por exemplo, LCZs com uma alta proporção de edifícios e outras superfícies impermeáveis (como a classe 1 ou classe 2) tendem a ter temperaturas mais altas em comparação com LCZs com alta proporção de vegetação (como a classe 11 ou classe 12). Isso se deve ao fato de que edifícios e outras superfícies impermeáveis absorvem e irradiam mais calor do que a vegetação, levando a temperaturas mais altas no ar circundante.

Por outro lado, as ZLCs com alta proporção de corpos d'água (como a classe 9 ou classe 10) tendem a apresentar temperaturas mais baixas em comparação com outras ZLCs, devido ao efeito de resfriamento proporcionado pela evaporação das superfícies hídricas. No geral, a assinatura térmica de uma LCZ reflete a maneira como as características físicas dessa LCZ influenciam o balanço de energia local e as condições de temperatura.

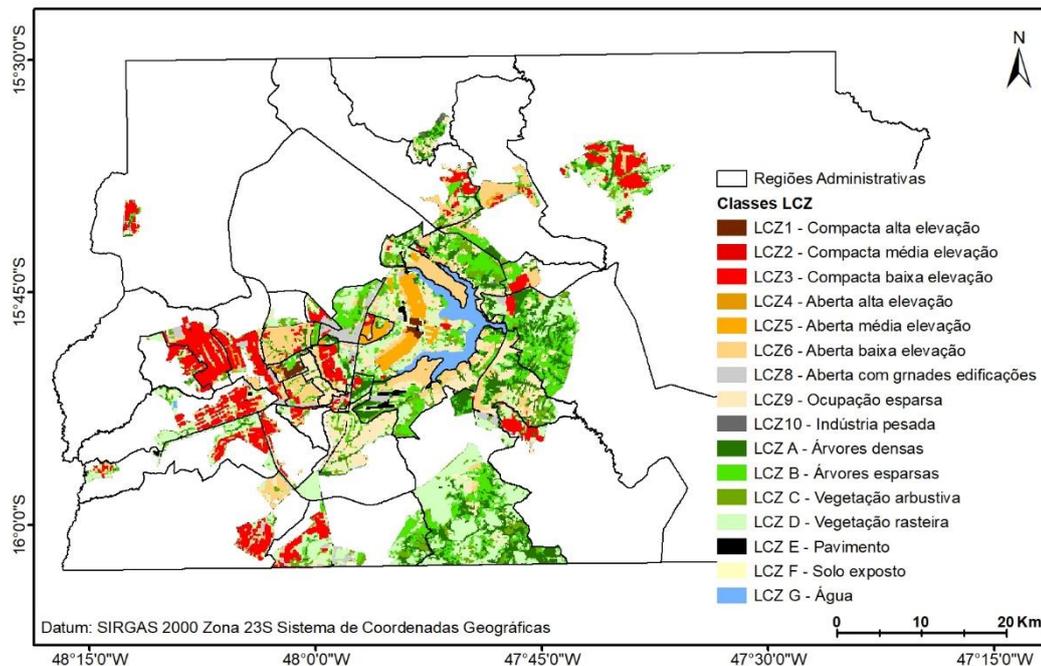
#### 4.3.1. Resultados de trabalhos anteriores

Werneck (2022) fez o mapeamento das LCZs no Distrito Federal (Tabela 2). Foram identificadas 16 classes, dentre as 17 classes originais, na região do Distrito Federal.

**Tabela 2: Classes do sistema LCZ no Distrito Federal**

Classes de ocupação urbana	Descrição	Região identificada
LCZ 1	Compacta de alta elevação	Setor Hoteleiro, Setor de autarquias
LCZ 2	Compacta de média elevação	Guará, Taguatinga
LCZ 3	Compacta de baixa elevação	Ceilândia,
LCZ 4	Aberta de alta elevação	Águas Claras
LCZ 5	Aberta de média elevação	Asa Sul, Asa Norte, Esplanada
LCZ 6	Aberta de baixa elevação	Lago Sul, Lago Norte
LCZ 8	Aberta com grandes edificações	Setor de Indústrias Automobilísticas
LCZ 9	Ocupação esparsa	Park Way, Campus Darcy Ribeiro
LCZ 10	Indústria pesada	Fercal
LCZ A	Árvores densas	-
LCZ B	Árvores esparsas	-
LCZ C	Vegetação arbustiva	-
LCZ D	Vegetação rasteira	-
LCZ E	Pavimento	Aeroporto
LCZ F	Solo exposto	-
LCZ G	Água	Lago Paranoá

Com a área de estudo delimitada de acordo com a macrozona urbana, a autora apresentou a distribuição espacial das LCZs sobre o Distrito Federal de forma que a imagem do mapeamento foi recortada com foco apenas da região urbana, conforme apresentado na **Figura 3**. A autora observou que a LCZ 3, LCZ 9 e LCZ 6 são os tipos de ocupação urbana mais frequentes no DF, respectivamente. Já a LCZ 10, LCZ 4 e LCZ 2 são as menos frequentes. A autora destaca que o tipo de ocupação de baixa elevação é o tipo predominante no DF.



**Figura 3: Distribuição espacial das LCZs sobre a área urbana do Distrito Federal.**

**Fonte: Adaptado de Werneck (2022)**

#### 4.3.2. Limitações do sistema LCZ

O sistema tem sido bem recebido na área de estudo do clima urbano (CHING et al, 2018; HIDALGO et al, 2019; DEMUZERE et al, 2019). Porém, a capacidade representativa de cada zona ainda é questionada. Uma vez que o processo é uma simplificação da cidade, cada classe inevitavelmente terá uma certa heterogeneidade interna. Isso significa que, para fins de classificação, é crucial o conhecimento das áreas para precisar os limites das classes (*apud* Werneck, 2022).

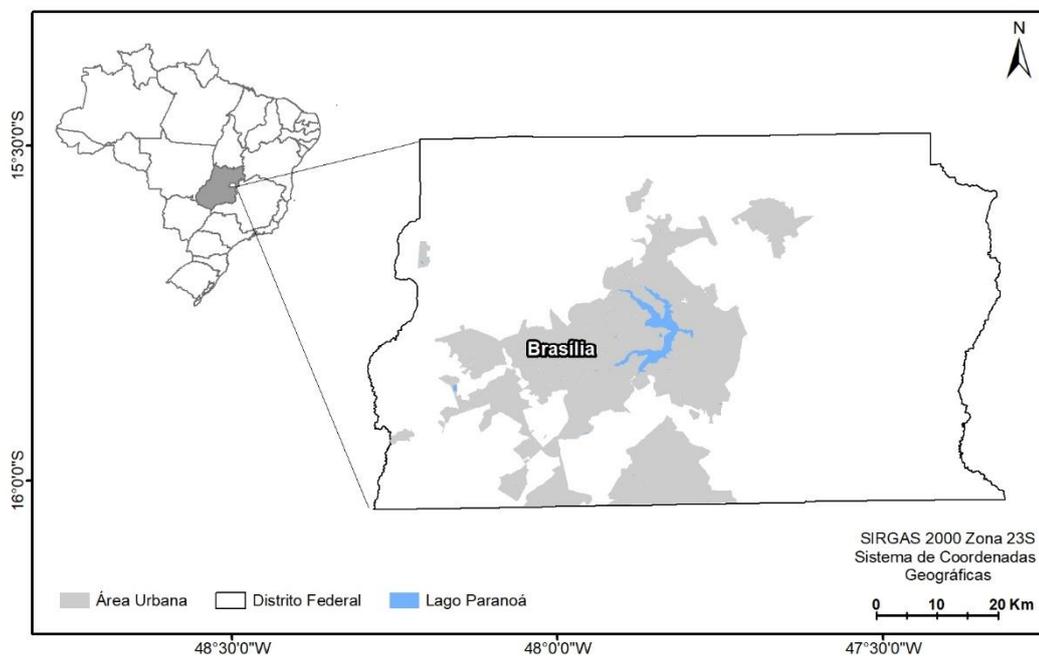
Devido à sua natureza genérica, é natural que as tipologias desse sistema não levem em conta as particularidades das áreas urbanas, rurais e naturais de todo o mundo. Os autores criadores do sistema reconhecem que essa abordagem pode ser reducionista em relação à paisagem, e como acontece com qualquer sistema que pretenda oferecer uma classificação universal, a interpretação e descrição de seus componentes podem ser limitadas.

É certo que todo sistema de classificação tem uma finalidade específica e é limitado por uma escala, e é improvável que um único sistema possa atender a todas as demandas do planejamento urbano. Outro ponto a ser considerado é a homogeneidade

interna das LCZs, que pode variar entre diferentes cidades, tipos de desenho urbano, planejamento e até mesmo se uma região urbana está em fase de consolidação ou totalmente consolidada. Além disso, é possível que áreas sejam recuperadas e revegetadas e voltem a uma condição natural alterando na cobertura do solo daquela região. Portanto, a escala e a temporalidade da classificação são elementos importantes para sua utilização. Em outras palavras, áreas em crescimento ou em transformação de seu uso e ocupação do solo exigem uma constante atualização de estudo e análise.

#### 4.4. Contextualização da área de estudo

O Distrito Federal é uma unidade federativa do Brasil localizada no centro do país, que abriga a capital federal, Brasília, conforme **Figura 4**. A Capital foi inaugurada em 1960 com o objetivo de ser a sede do governo federal e dos poderes Executivo, Legislativo e Judiciário.



**Figura 4: Localização do Distrito Federal no Brasil.**

**Fonte: Do autor.**

##### 4.4.1. Uso e ocupação do solo no Distrito Federal – breve histórico

Diferente da maioria das cidades brasileiras, Brasília não se originou espontaneamente de uma ocupação prévia do espaço como resultado de processos econômicos, sociais e políticos inerentes à dinâmica urbana. É uma cidade que surgiu de uma ideia que foi posteriormente transformada em *design*. Não é, portanto, uma cidade convencional. Foi construída como símbolo da modernidade. O desenho urbano foi baseado nos princípios do urbanismo modernista: a cidade foi dividida em setores distintos para uso residencial, governamental e comercial. Porém, a forma física e a estrutura da área metropolitana de Brasília foi sendo gradualmente modificada de acordo com as mudanças de zoneamento ao longo dos anos (COSTA e LEE, 2019).

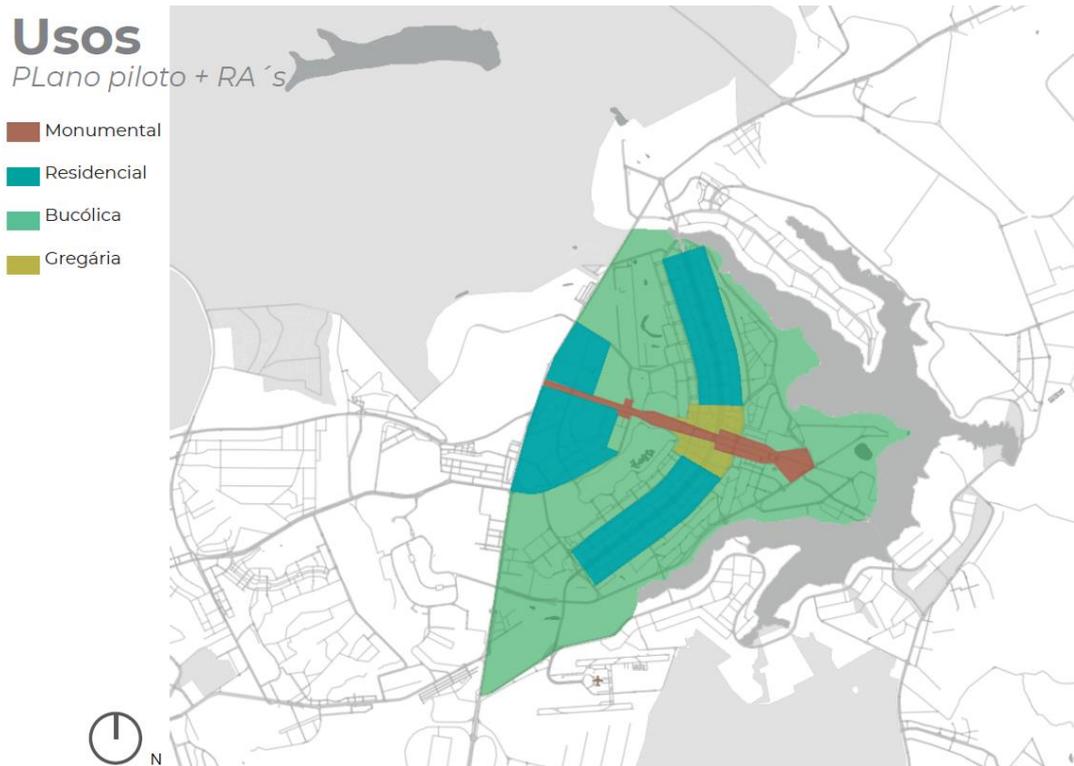
A criação da cidade de Brasília começou na década de 1950. Na época, a capital do Brasil era o Rio de Janeiro. Os primeiros estudos de demarcação do território para a nova cidade foram realizados em 1892 quando a Comissão Exploratória do Planalto, liderada por Luiz Cruls, foi constituída pelo presidente Marechal Floriano Vieira Peixoto para estudar e demarcar a área do Distrito Federal. Em 1894 foi definida uma área de aproximadamente 14400km<sup>2</sup> em forma de quadrilátero (BARROS, 1992). Em 1956 foi criada a Companhia Urbanizadora da Nova Capital (NOVACAP), por determinação do então Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira. A empresa foi estabelecida para controlar o uso da terra e executar diretamente ou contratar empresas para projetos em nome do Estado. A NOVACAP também foi encarregada de um concurso nacional para a elaboração do plano diretor de Brasília. O governo federal previu um projeto para no máximo 500.000 habitantes, além de uma rodovia e ferrovia ligando Brasília a Anápolis na zona sudoeste do Distrito Federal (COSTA e LEE, 2019).

Em 1957 o projeto do urbanista Lúcio Costa vence o Concurso Nacional do Plano Piloto da Nova Capital do Brasil (CODEPLAN, 2012). Lúcio Costa desenvolveu um plano que incluiu todos os elementos centrais do território. O projeto original foi idealizado a partir de um plano racional e funcional baseado em um sistema de transporte rodoviário.

A cidade foi inaugurada oficialmente em 1960, mas enfrentou muitos desafios em seus primeiros anos, incluindo problemas com crescimento populacional e desenvolvimento de infraestrutura. Apesar desses desafios, a cidade de Brasília cresceu e se desenvolveu ao longo dos anos e hoje é um importante centro político e cultural do Brasil. O design da cidade tornou-se modelo para outras cidades ao redor do mundo e hoje é reconhecida como Patrimônio Mundial da UNESCO (COSTA e LEE, 2019),

#### 4.4.2. O plano piloto e suas escalas

A capital nacional possui variadas densidades urbanas, é estruturada em diferentes escalas (**Figura 5**), criadas para organizar o espaço e conferir parâmetros de uso e ocupação do solo particulares a cada uma das escalas. A escala monumental abrange todo o eixo monumental, da Praça dos Três Poderes à Praça do Buriti. É o local que abriga os principais edifícios político-administrativos da cidade, que representam os três poderes do Estado, dispostos como ponto focal ao final de um eixo único, atribuindo a concepção da monumentalidade. A escala residencial é composta por edifícios residenciais multifamiliares de seis pavimentos nas quadras 100, 200 e 300 e de três pavimentos nas 400, distribuídos nas superquadras, organizadas numericamente do centro da cidade aos extremos. A escala gregária localiza-se na bifurcação do eixo rodoviário e monumental. Comporta diversos setores como o de diversão, comercial, bancário, hoteleiro, hospitalar, de autarquia, de rádio e televisão e a plataforma rodoviária, local de principal acesso da população do entorno para dentro do plano. A escala bucólica não possui limites definidos, penetra todas as demais escalas e representa os espaços vazios que são preenchidos com o verde urbano. É o que faz com que a cidade tenha o caráter de cidade-parque (AZEVEDO e NEVES, 2014).



**Figura 5: Escalas descritas pelo urbanista Lúcio Costa no Plano Diretor**

Fonte: Do autor.

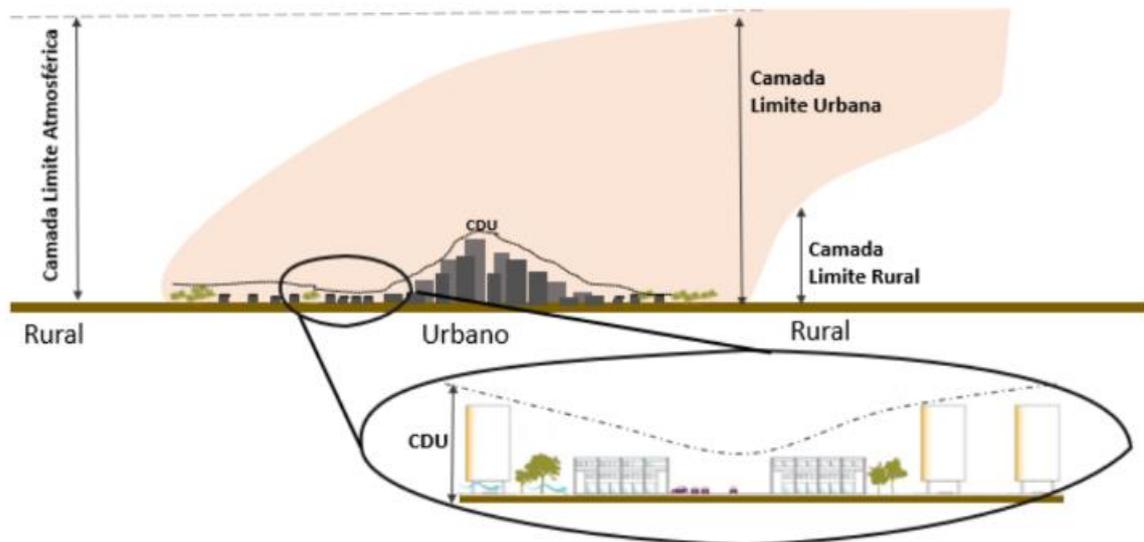
Nos estudos de clima urbano, é frequente o uso de três níveis distintos de escala espacial: a mesoescala, a microescala e a escala local, conforme **Figura 6**. A mesoescala compreende dezenas de quilômetros de extensão, e representa a maior área em termos de território. Em nível regional ou metropolitano, essa escala representa o clima de uma cidade como um todo. A escala local representa áreas que podem ser classificadas com um padrão urbano característico em termos de cobertura do solo, altura, espaçamento dos edifícios e atividades principais. É a escala que a estação meteorológica pode monitorar e compreende uma extensão linear de 100m a aproximadamente 1km. Na microescala toda superfície apresenta seu próprio microclima e seu efeito atinge seu entorno imediato podendo variar a temperatura do ar em uma curta distância de seu entorno. Compreende as menores áreas em termos de território e podem se resumir a escala de um único edifício, rua, jardim etc (Werneck, 2022). Para a classificação da paisagem urbana abordada neste estudo, a escala local foi adotada como referência.



**Figura 6: Escalas do clima urbano versus escalas do desenho urbano.**

Fonte: Do autor.

Além das definições horizontais das escalas, há também a consideração da escala vertical da cidade. A camada limite urbana (CLU) encontra-se acima dos telhados da cidade e é homogênea em toda a área urbana. Ela forma um domo de ar aquecido sobre a cidade que pode ser alterado pelo vento. Por outro lado, a camada dossel urbano (CDU) ou Camada Cobertura Urbana (CCU) situa-se abaixo dos telhados dos edifícios, próxima às superfícies da cidade e se estende verticalmente desde o solo até a influência do edifício mais alto conforme **Figura 7**. É a camada onde as pessoas vivem (ROMERO et al, 2019). Neste trabalho, as análises são focadas na CDU.



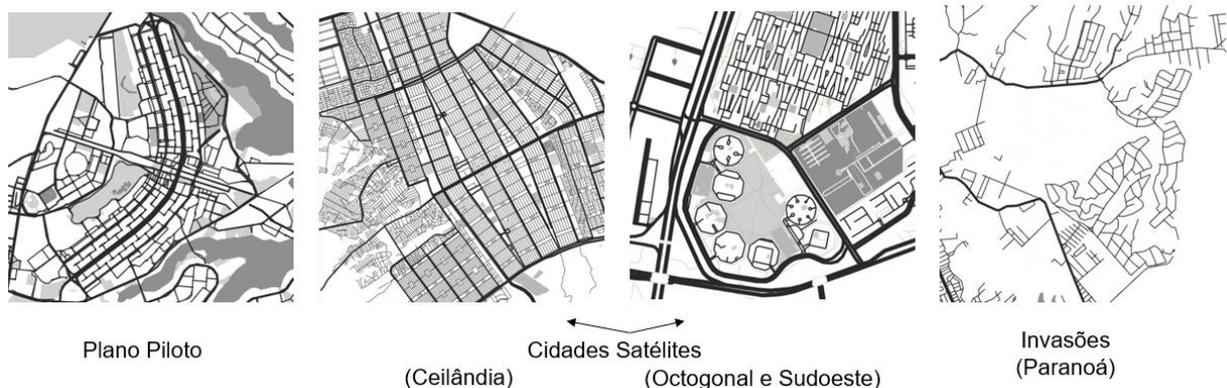
**Figura 7: Escalas climáticas verticais.**

Fonte: Werneck, 2022

#### 4.4.3. A forma urbana do Distrito Federal

O DF é composto de um plano piloto cuja trama urbana foi extensamente pensada e planejada; por cidades satélites que se desenvolveram naturalmente ao longo do tempo de forma não planejada; e por invasões que cresceram de forma exponencial e desordenadamente (**Figura 8**). Sendo assim, a morfologia do DF é bem diversa,

abrangendo desenhos urbanos organizados, a exemplo do plano piloto e não organizados, como a região do sol nascente.



**Figura 8: Diversidade de Padrões Morfológicos do Distrito Federal**

**Fonte: Do autor.**

De acordo com os parâmetros urbanísticos (SEDUH-DF, 2023): tamanho do lote, gabarito, taxa de ocupação (taxa de área construída), taxa de permeabilidade e coeficiente de aproveitamento; observa-se que o DF possui em sua legislação urbanística, uma grande variedade de normatização. Dessa forma, a vegetação, o clima, comportamento dos ventos e comportamento social se apresentam de maneira diversa dentre as regiões. Por esse motivo, quando se tem o Distrito Federal como área de estudo, é importante que suas diversas formas urbanas sejam abordadas.

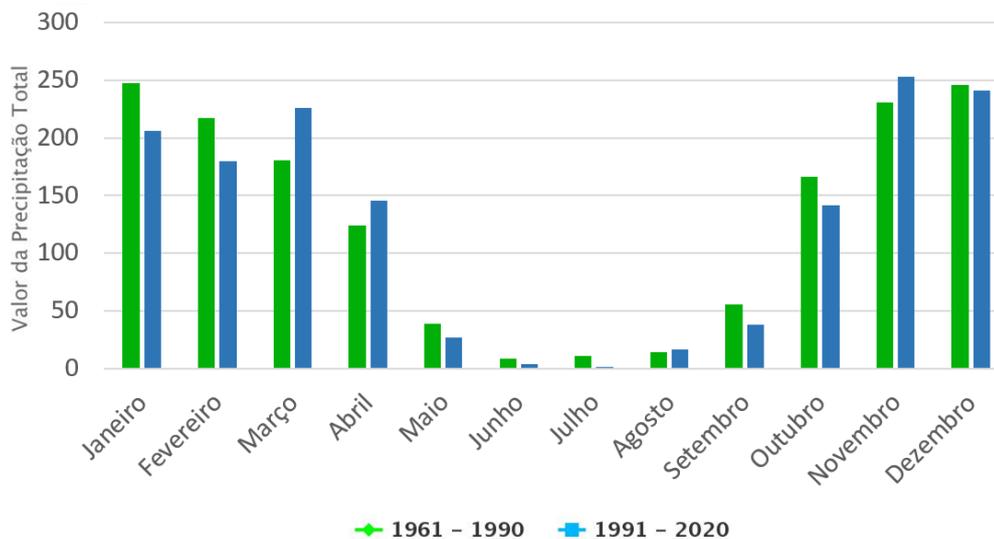
#### 4.4.4. Clima no DF

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), o DF apresenta o clima Tropical Brasil Central, quente e semi-úmido, com ocorrência de 4 a 5 meses secos. Segundo a classificação climática internacional de Köppen e Geiger, o DF pertence à categoria Aw, ou seja, possui característica de verão chuvoso e inverno seco (NASCIMENTO et al., 2017). Portanto o clima do Distrito Federal é caracterizado por uma estação quente e chuvosa, que vai de outubro a abril, e uma estação fria e seca, que vai de maio a setembro.

Para a caracterização do clima do Distrito Federal, foram utilizados como referências os dados das normais climatológicas do INMET (2022), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020) e o sistema de classificação climática internacional de Köppen e Geiger. Os dados das normais climatológicas foram obtidos pela Estação Brasília (A001), e estão organizados em duas normais climatológicas: de 1961-1990 e 1981-2020. Foram observados os dados de precipitação acumulada, temperatura média e umidade relativa, conforme **Figura 9**, **Figura 10** e **Figura 11**.

## Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

Gráfico Comparativo Precipitação Acumulada (mm) || Estação: BRASILIA (83377)

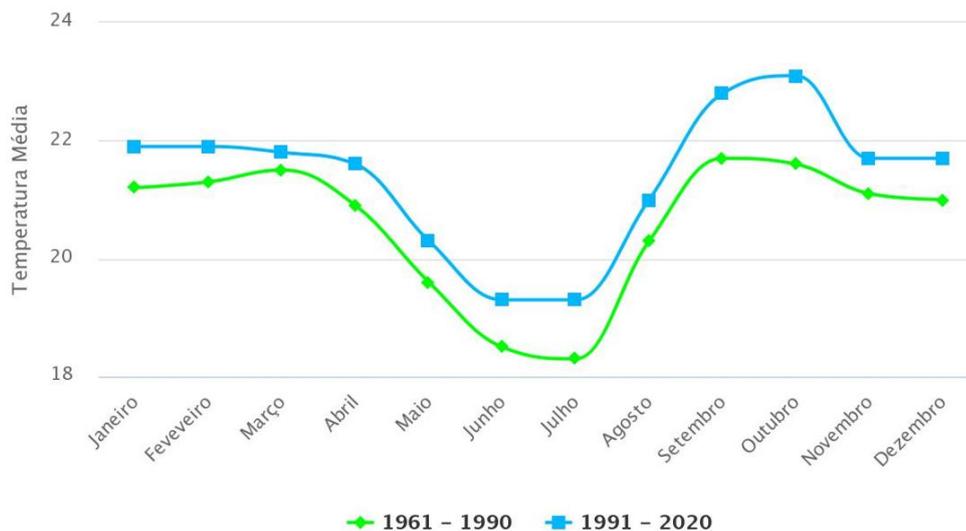


**Figura 9: Gráfico mensal precipitação acumulada. Estação Brasília (A001).**

Fonte: INMET (2023)

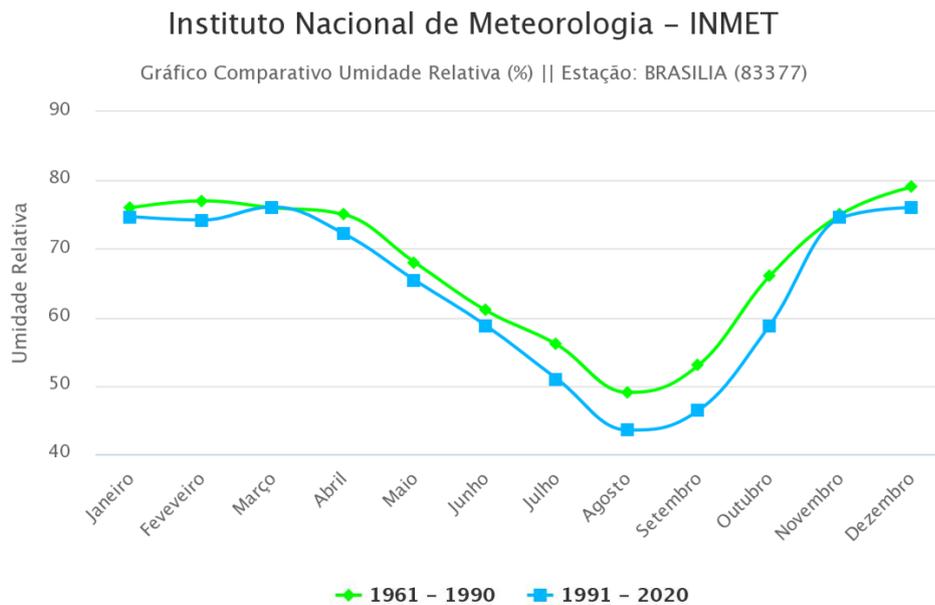
## Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

Gráfico Comparativo Temperatura Média (°C) || Estação: BRASILIA (83377)



**Figura 10: Gráfico mensal de temperatura média. Estação Brasília (A001).**

Fonte: INMET (2023)



**Figura 11: Gráfico mensal de umidade relativa: Estação Brasília (A001).**

**Fonte: INMET (2023)**

Durante a estação chuvosa, que geralmente ocorre de outubro a abril, a precipitação acumulada é mais elevada, com aumento significativo das chuvas. A umidade relativa do ar acompanha o mesmo período e tende a ser mais elevada. Por outro lado, durante a estação seca, que ocorre de maio a setembro, a precipitação acumulada é reduzida, e o clima é caracterizado por dias ensolarados e céu claro. As temperaturas médias durante essa estação são mais amenas, sendo junho e julho os meses mais frios. A umidade relativa do ar tende a diminuir, resultando em condições mais secas.

Adiante, é apresentado a parte dois deste trabalho, que sintetiza o que foi dissertado até o momento, em formato de artigo, contemplando também a metodologia e resultados. Bem como, serão discutidas conclusões pertinentes com o intuito de contribuir para o desenvolvimento de estratégias para o planejamento de cidades.

# PARTE 2

## **EVOLUÇÃO TEMPORAL DA TEMPERATURA EM ÁREAS COM TECIDOS URBANOS DISTINTOS NO DISTRITO FEDERAL**

A falta de planejamento de cidades, ocupação desordenada, pequena quantidade de verde urbano e densa morfologia construtiva podem resultar em altas temperaturas urbanas, que podem gerar impactos significativos na saúde humana, no consumo de energia e no meio ambiente. O estudo avalia a evolução temporal da temperatura em cidades do Distrito Federal que possuem ocupação e morfologia urbana distintas. Para isso foram selecionadas cinco regiões com diferenças construtivas, morfológicas e sociais para analisar o comportamento da temperatura ao longo de 20 anos. Foi utilizada a linguagem de programação *Python* no ambiente *Google Colab*, associado ao *Google Earth Engine code editor* (GEE). Os dados de temperatura foram obtidos pelo sensor MODIS. O comportamento da temperatura das regiões estudadas se mostrou semelhante entre eles, apesar das diferenças de ocupação do solo. No entanto, regiões mais densamente ocupadas e com menores porções de vegetação apresentaram temperaturas mais elevadas. Núcleos urbanos planejados tendem a ser mais agradáveis termicamente, entretanto, o planejamento não garante o bem-estar social, pois centros urbanos socioeconomicamente vulneráveis podem ser planejados, mas segregados socioespacialmente, refletindo na qualidade de vida e desconforto térmico das populações. Assim, o conhecimento do histórico socioespacial é de grande importância em estudos climatológicos.

**Palavras-chave:** Temperatura Urbana; Morfologia Urbana; Sensoriamento Remoto.

## **TEMPERATURE EVOLUTION IN AREAS WITH DIFFERENT URBAN DESIGN IN THE FEDERAL DISTRICT**

The lack of urban planning, disorderly occupation, small amount of green city spaces and dense constructive morphology can result in high urban temperatures, which can cause significant impacts in human health, energy consumption and on the environment. Thus, the study goal is to assess temperature evolution over time, in Brasília's Federal District cities with distinct occupations and urban morphologies. Five regions with constructive, morphologic and social differences were selected to analyze the temperature behavior over 20 years. Python programming language in the Google Colab platform, associated with Google Earth Engine Code Editor (GEE) where used. Temperature data collection where obtained by the MODIS sensor. The behavior of temperature in the studied regions showed to be similar between themselves despite the differences in ground occupation. However, more densely occupied regions with smaller portions of vegetation showed higher temperatures. Planned urban centers tend to be more thermally pleasant. Nonetheless, the planning doesn't ensure the social welfare, because socioeconomically vulnerable urban centers may be planned, but socio-spatially segregated, reflecting on the quality of life and thermal discomfort of populations. So, the historical sociospatial knowledge is of great importance in climatological studies.

**Keywords:** Temperature; Urban Morphology; Remote sensing

## **ÉVOLUTION TEMPORAIRE DE LA TEMPÉRATURE DANS LES ZONES AYANT UNE OCCUPATION URBAINE DISTINCTES DU DISTRICT FÉDÉRAL**

Le manque de planification urbaine, l'occupation désordonnée, la faible quantité d'espaces verts en ville et la morphologie constructive dense peuvent entraîner des températures urbaines élevées, ce qui peut avoir des conséquences sur la santé humaine, la consommation d'énergie et l'environnement. L'objectif de ce étude est d'évaluer l'évolution de la température dans les villes du DF de Brasília avec des occupations et des morphologies urbaines distinctes. Cinq régions présentant des différences constructives, morphologiques et sociales ont été sélectionnées pour analyser le comportement de la température sur une période de 20 ans. Le langage de programmation Python sur la plateforme Google Colab associée à l'éditeur de Google Earth Engine on été utilisé à l'aide des données de température collectées par le capteur MODIS. Le comportement de la température dans les régions étudiées s'est similaire les unes aux autres, malgré les différences d'occupation du sol. Cependant, les régions densément occupées et avec de plus petites portions de végétation présentaient des températures plus élevées. Les centres urbains planifiés ont tendance à être plus agréables thermiquement. Cependant, la planification ne garantit pas le bien-être social, car les centres urbains socialement et économiquement vulnérables peuvent être planifiés, mais ils restent socialement et spatialement ségrégués, ce qui se répercute sur la qualité de vie et l'inconfort thermique des populations.

**Mot clés:** Température urbaine ; Morphologie urbaine; Télédétection

## EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA EN ÁREAS CON DISTINTO DISEÑO URBANO DEL DISTRITO FEDERAL

La falta de planificación de ciudades, ocupación desordenada, pequeñas cantidades de verde urbano, pueden generar impactos en la salud humana, en el consumo de energía y en el ambiente. El propósito del estudio es evaluar la evolución temporal de la temperatura, en ciudades del Distrito Federal de Brasilia que tienen distintas ocupación y morfología urbanas. Cinco regiones con diferencias constructivas, morfológicas y sociales para analizar el comportamiento de la temperatura a lo largo de 20 años. Esto se hizo utilizando el lenguaje de programación Python en el entorno de Google Colab, asociado con el Google Earth Engine Code Editor, a través de la adquisición de datos de temperatura obtenidos por el sensor MODIS. El comportamiento de la temperatura en las regiones estudiadas fue similar entre ellas, a pesar de las diferencias en la ocupación del suelo. Sin embargo, las regiones más densamente pobladas con porciones más pequeñas de vegetación tuvieron temperaturas más altas. Los núcleos urbanos planificados tienden a ser térmicamente más agradables. Sin embargo, la planificación no garantiza el bienestar social, ya que se pueden planificar centros urbanos socioeconómicamente vulnerables, e socioespacialmente segregados, repercutiendo en la calidad de vida y el malestar térmico de las poblaciones.

**Palavras clave:** Temperatura Urbana; Morfología Urbana; Detección remota

### DESTAQUES

- O desenho urbano planejado e organizado, não garante o conforto térmico da cidade.
- A vegetação é um critério fundamental para garantir o conforto térmico.
- O planejamento urbano também pode ser segregador.
- Os efeitos da pandemia não foram expressivos na temperatura das áreas de estudo.

## I. INTRODUÇÃO

Clima urbano é definido como uma condição distinta criada nas cidades. É influenciado pela morfologia urbana<sup>i</sup> e arranjo do tecido urbano (Werneck, 2022). O estudo do clima urbano, com foco na compreensão das características climáticas específicas das áreas urbanas, tem sido uma área de pesquisa crescente nas últimas décadas. Pesquisadores de diversas disciplinas têm se dedicado a investigar como os ambientes urbanos influenciam o clima (Manteghi *et al*, 2015, Stweart e Oke, 2012; Tzavali *et al*, 2015; Werneck, 2022; Zanoni & Sánchez, 2020). O monitoramento climático é feito a partir da análise de diversas variáveis que impactam o clima, tais como a temperatura, umidade, precipitação, vento, declividade e topografia. No entanto, para o estudo do clima urbano, deve-se pensar também na ocupação do solo. Por isso, é importante entender como as mudanças nos padrões de urbanização podem afetar a temperatura das cidades.

A análise da evolução temporal da temperatura em áreas urbanas de diferentes morfologias é um tema de grande importância. A falta de planejamento das cidades, ocupação desordenada, quantidade de verde urbano e tipo de morfologia construtiva podem resultar em altas temperaturas urbanas, que geram impactos significativos na saúde humana, no consumo de energia e no meio ambiente.

A ocupação urbana invasiva e sem planejamento pode resultar em fenômenos como a ilha de calor urbana<sup>ii</sup>, que afetam a temperatura, umidade, ventilação e qualidade do ar nas áreas urbanas. O efeito ocorre devido a uma série de fatores, como a numerosa presença de edifícios, grande quantidade de pavimentos impermeáveis e falta de vegetação nas cidades. O fenômeno de ilha de calor pode gerar uma série de impactos negativos sobre o meio ambiente e vegetação, tais com: acentuar ondas de calor, aumentar o consumo de energia, contribuir para a poluição do ar e elevar o risco de inundações devido ao aumento da precipitação (Tzavali *et al*, 2015).

Existem várias condições adversas do clima que podem afetar o planeta de diferentes maneiras, como o El Niño Oscilação Sul (ENOS). Durante o ENOS, o oceano Pacífico Equatorial pode se tornar mais quente (El Niño) ou mais frio (La Niña) do que a média histórica, resultando em interferências nos efeitos globais da temperatura e precipitação. Essas mudanças na temperatura da superfície do mar podem ter efeitos significativos no clima global. Por exemplo, durante um El Niño, áreas do Pacífico Oriental, como a América do Sul, podem experimentar chuvas intensas, secas mais severas, alterações na temperatura e nos padrões dos ventos. O El Niño e La Niña podem variar em intensidade, ocorrendo de forma forte, moderada ou fraca (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [INPE], 2023). De acordo com o índice ONI – Oceanic Niño Index, desde 2000, o fenômeno ocorreu entre os anos 2002/2003, 2004/2005; 2009/2010; 2015/2016 e 2018/2019. Dentre os anos citados, as ocorrências de maior intensidade foram observadas em 2015/2016 e 2009/2010 (*National Oceanic and Atmospheric Administration* [NOAA], 2023).

Outro fenômeno que afetou a temperatura global foi a pandemia da Covid-19. Essa pandemia alterou diretamente as atividades humanas devido ao confinamento forçado das populações. Foram estabelecidas quarentenas nas cidades, houve diminuição do transporte e fechamento de fábricas e indústrias. Essas atividades são algumas das responsáveis pelo aumento da temperatura da superfície terrestre (*Land Surface Temperature* - LST), que foram reduzidas pela propagação do coronavírus, no final de 2019 e início de 2020. Mahdavi *et al* (2022) indicam que a temperatura terrestre na cidade de Asaluyeh no Irã, diminuiu em 2020 em comparação aos anos pré-Covid-19 e após a normalização das condições epidêmicas, conseqüentemente à redução das restrições de quarentena, a temperatura aumentou em relação ao período de pandemia. Shojaei *et al* (2022) apontam que a temperatura média da Terra caiu cerca de 0,3°C em comparação com 2019. No entanto, isso foi apenas uma diminuição temporária e de curto prazo causada pelas medidas de bloqueio global relacionadas à pandemia. A tendência geral para o ano foi um aumento na temperatura em comparação com o ano anterior, com uma elevação de quase 0,2°C em relação às estimativas de 2019.

Brasília foi originalmente projetada para comportar 500.000 habitantes. Ao longo do tempo, a cidade foi alvo de grande especulação socioeconômica e enorme imigração de pessoas egressas de outras regiões do Brasil. Houve crescimento demográfico desordenado e muito acelerado, resultando na ocupação irregular do território. Para absorver o intenso fluxo migratório direcionado à capital, foram criadas as “cidades satélites”, hoje denominadas Regiões Administrativas (RA). Atualmente, há 33 RAs, ou seja, 33 núcleos urbanos, sendo que algumas das RAs possuem planejamento urbano e outras são resultantes de invasões. Portanto, o DF é um distrito polinucleado onde os núcleos possuem tecidos urbanos muito diversos entre si (Maniçoba, 2020).

Em recente estudo, Werneck (2022) classificou a macrozona urbana do Distrito Federal, a partir da estrutura espacial das Zonas Climáticas Locais (*Local Climate Zones – LCZ*), utilizando imagens de satélite e ferramentas de processamento de dados de temperatura de superfície e índices de vegetação e umidade (quadro I). A LCZ é um sistema de classificação desenvolvido por Stewart & Oke (2012), que sistematiza a morfologia das cidades. É uma classificação supervisionada, utilizada para descrever e agrupar regiões com características semelhantes. Foi desenvolvido como uma forma de descrever e comparar os microclimas de diferentes áreas urbanas. Utilizando dados de temperatura diurnos, a autora verificou que as temperaturas de superfície são mais elevadas nas áreas urbanas com menor presença de vegetação e menor teor de umidade na vegetação. A classificação LCZ se mostrou uma ferramenta útil para monitorar e promover uma hierarquia de áreas a serem priorizadas na implementação de estratégias de mitigação de altas temperaturas.

Cada LCZ tem uma assinatura térmica típica, que se refere à faixa de temperatura normalmente observada naquela LCZ específica. A assinatura térmica de uma LCZ é influenciada por uma combinação de fatores, incluindo o tipo de cobertura da superfície, a geometria da superfície e a presença de corpos d'água ou outras características que podem afetar o balanço energético local. Há 17 classes distinguíveis, cada uma definida por características físicas específicas que influenciam o clima local, onde 10 classes possuem presença de edificação (Stewart & Oke, 2012).

Quadro I – Classes do sistema LCZ no Distrito Federal.

*Table I – LCZs classes in Distrito Federal.*

<b>Classes</b>	<b>Descrição</b>	<b>Região identificada</b>
LCZ 1	Compacta de alta elevação	Setor Hoteleiro, Setor de autarquias
LCZ 2	Compacta de média elevação	Guará, Taguatinga
LCZ 3	Compacta de baixa elevação	Ceilândia,
LCZ 4	Aberta de alta elevação	Águas Claras
LCZ 5	Aberta de média elevação	Asa Sul, Asa Norte, Esplanada
LCZ 6	Aberta de baixa elevação	Lago Sul, Lago Norte
LCZ 8	Aberta com grandes edificações	Setor de Indústrias Automobilísticas
LCZ 9	Ocupação esparsa	Park Way, Campus Darcy Ribeiro
LCZ 10	Indústria pesada	Fercal
LCZ A	Árvores densas	-
LCZ B	Árvores esparsas	-
LCZ C	Vegetação arbustiva	-
LCZ D	Vegetação rasteira	-
LCZ E	Pavimento	Aeroporto
LCZ F	Solo exposto	-
LCZ G	Água	Lágo Paranoá

O presente estudo complementa as análises com informações espectrais para o período noturno. Analisa o comportamento da temperatura entre zonas com diferentes estruturas urbanas, comparando LCZs com variadas densidades construídas, arranjos de edificações e vegetação, além de comparar áreas urbanas planejadas e não planejadas. A hipótese levantada é que regiões urbanas planejadas têm comportamentos térmicos diferentes de regiões com crescimento espontâneo. Nesse sentido, o presente estudo avalia a evolução temporal da temperatura, ao longo de 20 anos, em cidades do Distrito Federal que possuem ocupação e morfologia urbanas distintas. Para isso, propõe verificar o comportamento diurno e noturno da temperatura em regiões urbanas planejadas e não planejadas ao longo do tempo, bem como verificar o comportamento sazonal da temperatura de superfície no âmbito da classificação LCZ.

## 1. Descrição da escala de trabalho

Nos estudos de clima urbano, é frequente o uso de três níveis distintos de escala espacial: a mesoescala, a microescala e a escala local, conforme apresentado na figura 1. A mesoescala compreende dezenas de quilômetros de extensão, e representa a maior área em termos de território. Em nível regional ou metropolitano, essa escala representa o clima de uma cidade como um todo. A escala local representa áreas que podem ser classificadas com um padrão urbano característico em termos de cobertura do solo, altura e espaçamento dos edifícios, atividades principais, etc.). É a escala que a estação meteorológica pode monitorar. Na microescala toda superfície apresenta seu próprio microclima e seu efeito atinge seu entorno imediato podendo variar a temperatura do ar em uma curta

distância de seu entorno. Compreende as menores áreas em termos de território e podem se resumir à escala de um único edifício, rua, jardim etc. (Werneck, 2022). Para a classificação da paisagem urbana abordada neste estudo, a escala local foi adotada como referência.



Fig. 1 – Escalas do clima urbano versus escalas do desenho urbano.

Fig. 1 – Urban climate scales versus urban design scales.

O bom planejamento urbano utiliza uma série de parâmetros urbanísticos (SEDUH-DF, 2023) como norteadores: tamanho do lote, gabarito das edificações, taxa de ocupação (taxa de área construída), taxa de permeabilidade e coeficiente de aproveitamento. Além da largura de vias e calçadas, área de praças e parques, dentre outros.

As áreas urbanas são facilmente diferenciáveis das áreas rurais e/ou não urbanas no sentido de classificação de superfície e uso e ocupação do solo. A comparação entre essas áreas é o objeto de pesquisa da maioria dos estudos de clima urbano. No entanto, o estudo do clima urbano fica mais difícil quando o objeto de estudo é a diferença entre uma região urbana e outra, pois a diferenciação entre elas é menos facilmente caracterizada. Isso se dá devido ao grande número de alvos da cidade, portanto fica mais difícil caracterizar a estrutura urbana numa escala local ou microescala, por exemplo. Assim, os dados de superfície e os dados de temperatura são identificados em escalas diferentes, dificultando o cruzamento entre eles. Por isso se faz necessário um tipo de classificação urbana mais simplificada. Stewart & Oke (2012) abordam a necessidade da utilização de métodos de classificação que buscam a evidência de padrões homogêneos nas cidades para auxiliar nos estudos de clima urbano. A padronização torna a comparação dos resultados dos estudos climáticos mais facilmente alcançáveis. Para este trabalho será utilizado como método de padronização da superfície urbana o sistema de classificação LCZ.

## II. CONTEXTUALIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

A região de estudo está concentrada no Distrito Federal (DF), conforme mostra a figura 2. O Distrito Federal é uma unidade federativa do Brasil localizada no centro do país, que abriga a capital federal, Brasília. É composto de um plano piloto cuja trama urbana foi extensamente pensada e desenhada a partir do cruzamento de dois eixos, mas também por cidades satélites que se foram resultados da remoção de invasões de um local para outro, bem como invasões e acampamentos. A morfologia do DF abrange desenhos organizados a exemplo do plano piloto, e não organizados, como a região do Sol Nascente/Pôr do Sol, conforme mostra a figura 2 (Maniçoba, 2020).

O DF foi construído ao redor de um grande reservatório de água, um lago artificial, chamado de Lago Paranoá. Fator importante, pois, a água interfere termicamente nas regiões adjacentes. Segundo Manteghi *et al* (2015), a água que possui uma temperatura mais baixa em comparação com o seu entorno, atua como um fator de resfriamento e vice-versa. Dessa forma, a água desempenha o papel de um amortecedor para o ciclo diurno de temperatura; ela resfria o ambiente durante o dia e tende a manter o frescor à noite. No entanto, ao longo da noite, o impacto do resfriamento enfraquece até desaparecer e, em seguida, o lago deixa de ter seu efeito de resfriamento. Corpos d'água também têm a capacidade de atenuar eventos climáticos extremos como ondas de calor.

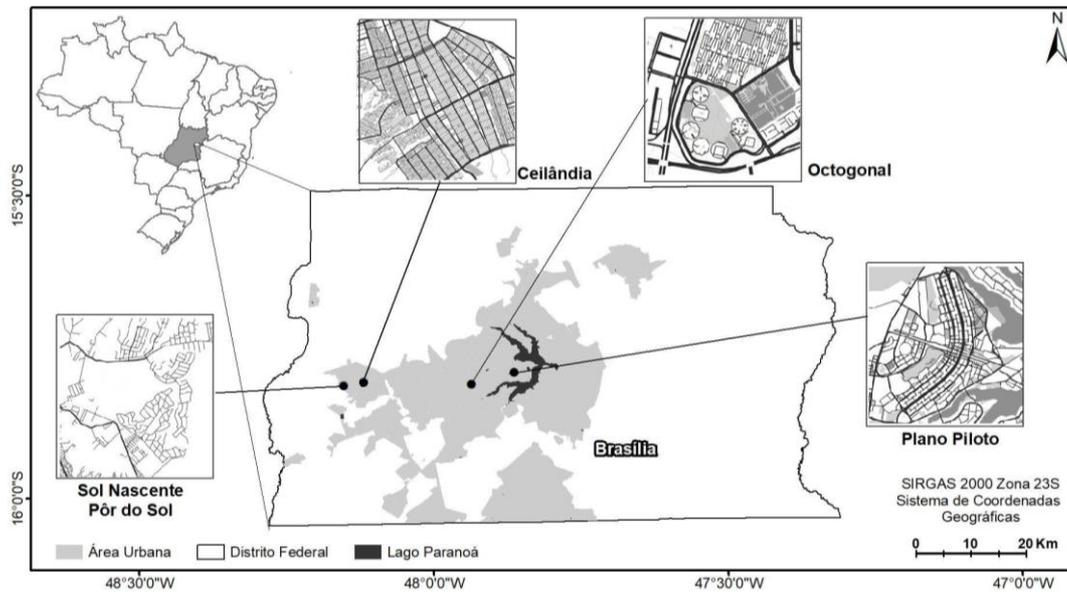


Fig. 2 – Diversidade de Padrões Morfológicos do Distrito Federal.

Fig. 2 – Morphological Patterns Diversity in Distrito Federal.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2020), o DF apresenta clima Tropical Brasil Central, quente e semi-úmido, com ocorrência de 4 a 5 meses secos. Segundo a classificação climática internacional de Köppen e Geiger, o DF pertence às categorias Aw, Cwa e Cwb, ou seja, possui característica de verão chuvoso e quente e inverno seco e frio (Nascimento *et al*, 2017). A categoria Aw ocorre principalmente nas regiões nordeste e central do Distrito Federal, abrangendo RAs como o Lago Sul, Park Way e Plano Piloto. A categoria Cwa ocorre principalmente na regiões leste e norte. Já a categoria Cwb ocorre na região mais oeste do quadrilátero, abrangendo RA's como Ceilândia e Sol Nascente/Pôr do Sol (CODEPLAN, 2020), conforme mostra a figura 3.

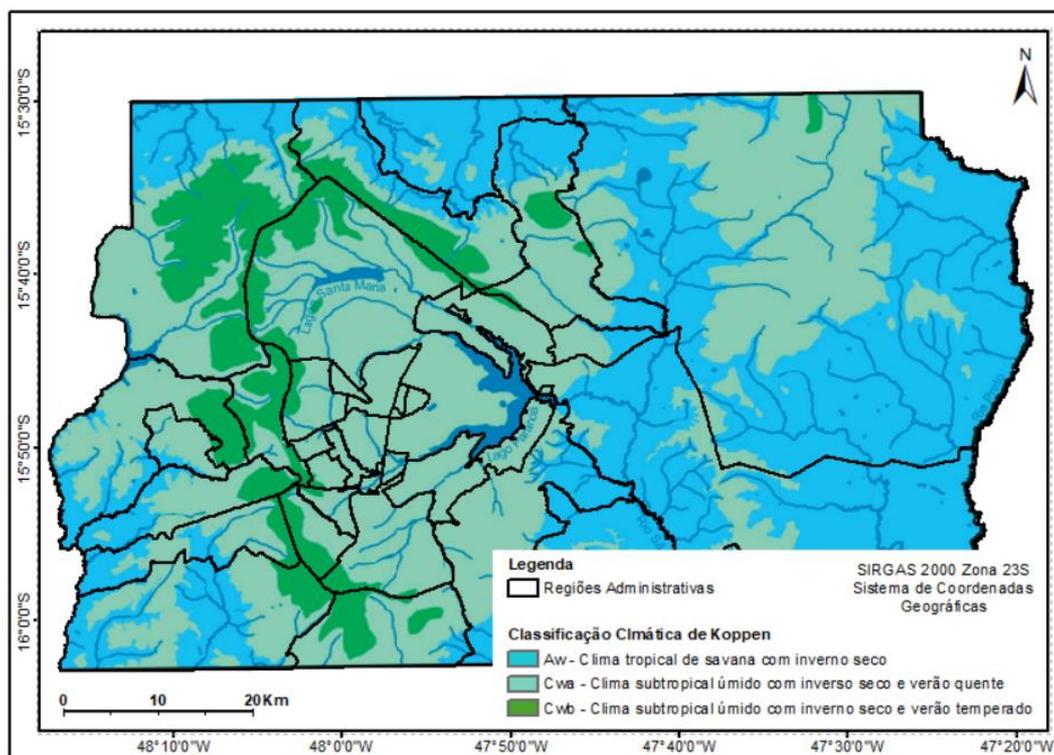


Fig. 3 – Clima do Distrito Federal segundo classificação climática de Köppen.

Fig. 3 – Federal District's Climate according to the Köppen climate classification.

O Distrito federal possui pluviosidade caracterizada pela marcante sazonalidade. Cerca de 90% da precipitação anual concentra-se na estação das chuvas, enquanto durante a estação seca, raramente chove mais que 9,0 mm/mês. O total anual de chuvas varia entre 1.100 mm a 1.600 mm. A umidade do ar também segue padrões regionais distintos. Durante o período chuvoso, os níveis de umidade ficam geralmente entre 70% a 80%. Entretanto, no período seco, a umidade do ar diminui, apresentando valores médios entre 45% e 65%. Em algumas ocasiões, os níveis de umidade podem cair para menos de 20%, tornando o ambiente consideravelmente seco (CODEPLAN, 2020). A regiões localizadas a sudoeste do DF possuem média históricas acumuladas de chuva mais elevadas que a região central do plano piloto, conforme mostra figura 4.

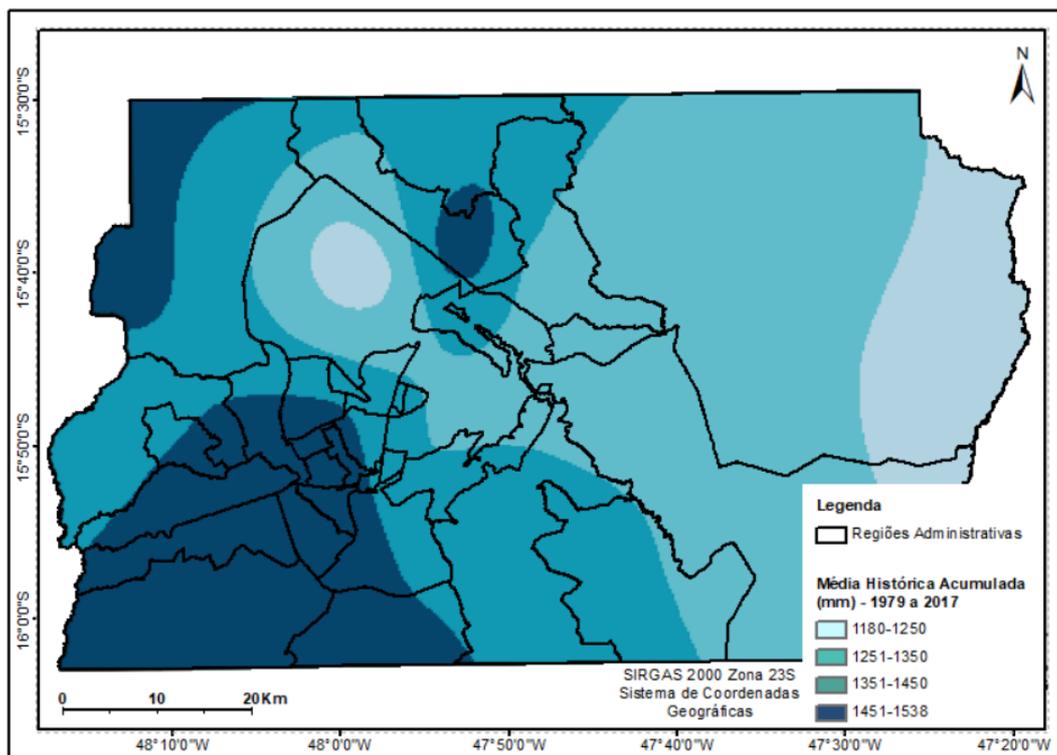


Fig. 4 – Média histórica de chuva acumulada do Distrito Federal.  
*Fig. 4 – Accumulated historical average rainfall in the Federal District.*

Os dados das normais climatológicas mostrados na figura 5, obtidos pela Estação Brasília (A001), organizados em duas normais climatológicas: (1961-1990 e 1981-2020) evidenciam que o clima do Distrito Federal é caracterizado por uma estação quente e chuvosa, que vai de outubro a abril, e uma estação fria e seca, que vai de maio a setembro (Instituto Nacional de Meteorologia [INMET], 2022).

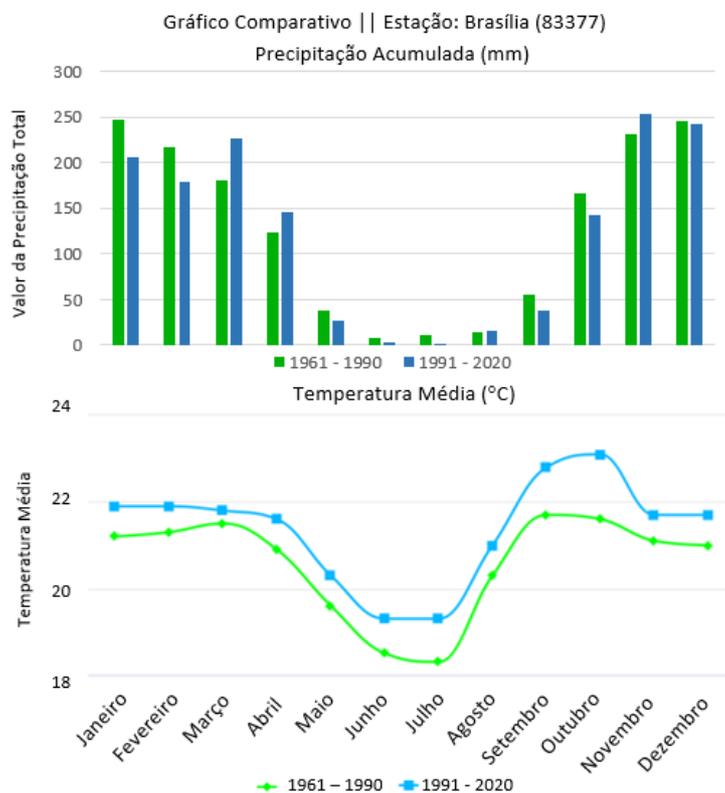


Fig. 5 – Gráfico mensal de temperatura média e precipitação acumulada. Estação Brasília (A001).  
Fig. 5 – Monthly chart of average temperature and accumulated precipitation. Brasília (A001) Station.

Fonte: INMET (2023).

Os ventos predominantes na cidade de Brasília atuam na direção Leste, que apresenta a maior média anual de velocidade de vento, conforme indicado no quadro II. Nos meses mais secos, a velocidade do vento é maior (Zanoni & Sánchez, 2020).

Quadro II – Velocidade dos ventos: média anual em cada direção da série 2001-2013/INMET para Brasília.

Table II – Wind speed: annual average in each direction of the 2001-2013/INMET series for Brasília.

Direção	Velocidade	Frequência
Sem vento	-	3,08%
N	2,48	9,28%
NE	2,69	10,24%
L	3,57	34,62%
SE	2,43	17,26%
S	1,87	5,72%
SO	2,12	3,27%
O	2,03	4,81%
NO	2,41	11,7 %

As formas de relevo caracterizam a paisagem do DF como uma área de platôs, ou seja, grandes áreas de topografia semelhantes. Não apresenta picos ou quedas na topografia que indicam grandes morros ou vales. Ao longo de todo o quadrilátero do DF, existe uma diferença de pouco mais de 600 m entre a região mais baixa e a região mais alta, conforme mostra a figura 6. As classes altimétricas existentes no Distrito Federal apresentam, em média, queda de Oeste para Leste. Portanto as regiões administrativas que se encontram a oeste do DF, são mais altas que as regiões a leste.

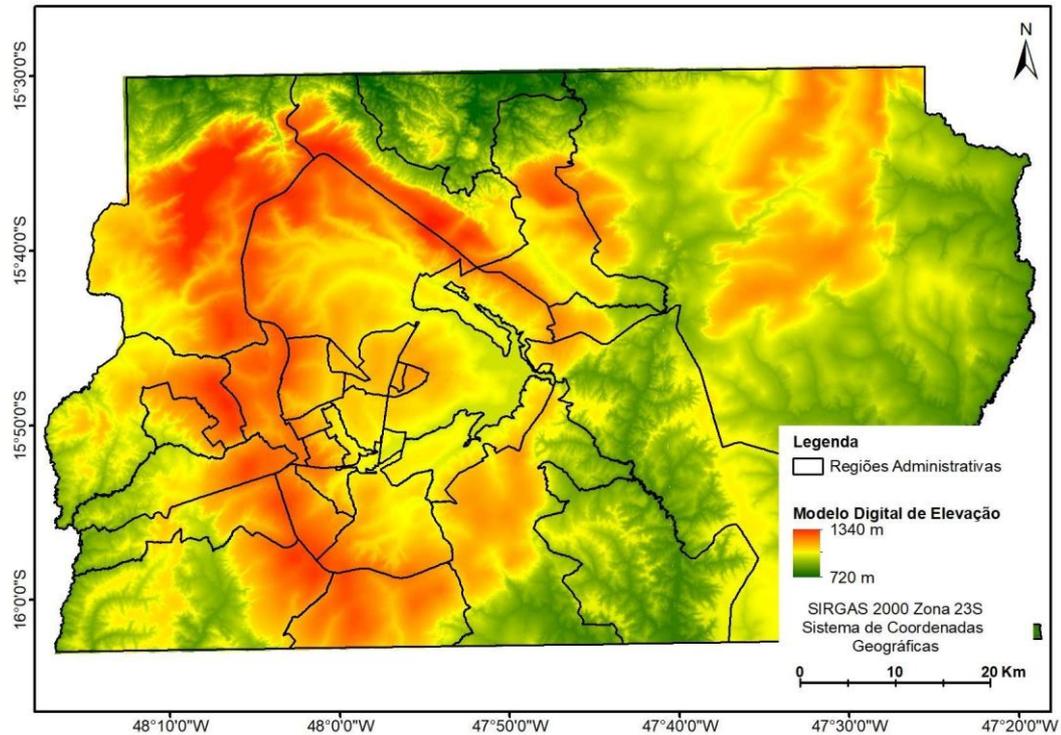


Fig. 6 – Mapa hipsométrico do Distrito Federal.

*Fig. 6 – Hypsometric map of Distrito Federal.*

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Modelo Digital de Elevação ALOS PALSAR.

O relevo do Distrito Federal é marcado por baixos índices de declividade, como é apresentado no mapa da figura 7. O terreno varia de plano a montanhoso seguindo a classificação da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA], 1979).

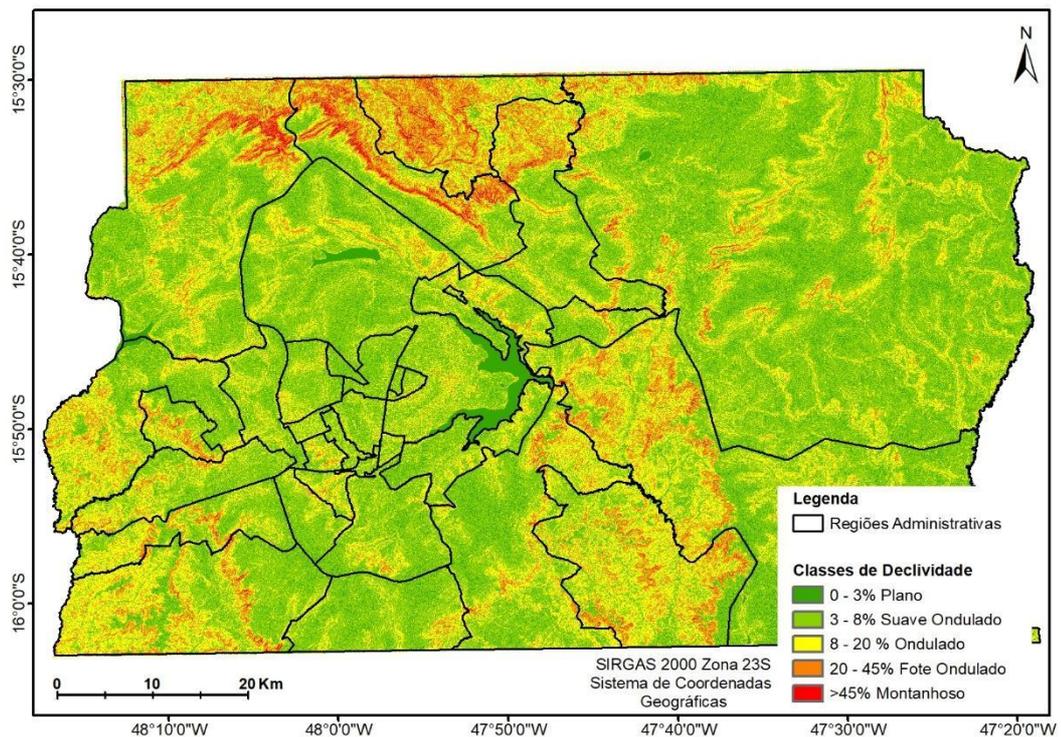


Fig. 7 – Mapa de Declividade do Distrito Federal.

*Fig. 7 – Slope map of Distrito Federal.*

Fonte: Elaborado pelo autor seguindo a classificação da EMBRAPA a partir de Modelo Digital de Elevação ALOS PALSAR.

Observa-se no quadro III que o Distrito Federal possui declividade prioritariamente classificada como suave ondulada, com 50,46% de declives entre 3 e 8%, seguido pela classe ondulado compreendendo 29,14% da área com intervalos de declive entre 8 e 20%. Na terceira posição, tem-se a classe plana referente a 11,25% da área com classe de declive entre 0 e 3%. A classe forte ondulada representa 8,31% e a montanhosa representa 0,85% da área total do DF. Desta forma, o relevo do Distrito Federal, apresenta em sua maioria, declividades inferiores a 20%. As áreas mais declivosas com valores superiores a 45% determinam áreas com uma vertente bastante inclinada com altas suscetibilidades à erosão (Leal *et al*, 2019).

Quadro III – Intervalos de declividade com respectivas classes e porcentagens de ocorrência no Distrito Federal.

*Table III – Intervals slopes, respective classes, and percentages of occurrence in Distrito Federal.*

<b>Intervalo de declividade</b>	<b>Classe</b>	<b>Porcentagem de ocorrência</b>
0 - 3	Plano	11,25%
3 - 8	Suave Ondulado	50,46%
8 - 20	Ondulado	29,14%
20 - 45	Forte Ondulado	8,31%
>45	Montanhoso	0,85%

### III. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo propõe a avaliação do comportamento térmico diurno e noturno entre áreas urbanas planejadas e áreas urbanas não planejadas. Também propõe a avaliação do comportamento térmico de regiões que se classificam em diferentes Zonas Climáticas Locais (LCZs), incluindo regiões urbanas que possuem características amplamente diferentes em termos de densidades, desenho urbano e arranjo de edificações (figura 6).

Para a avaliação de como diferentes LCZs respondem em termos de temperatura ao longo do dia e da noite, bem como ao longo dos anos, foram selecionados os tipos de ocupação urbana mais frequentes no DF: LCZ 3, LCZ 6 e LCZ 9; além da LCZ1 que será estudada como forma de comparação entre LCZs de características amplamente diferentes, pois a LCZ 1 e a LCZ 3 possuem características opostas.

Como representante da LCZ 1, foi eleito como área de estudo o Setor Gregário<sup>iii</sup>, que consiste nos setores comercial, bancário, hoteleiro e de diversões. Para a LCZ 3, 6 e 9 foram selecionadas as RAs Ceilândia, Lago Sul e Park Way respectivamente. A região do Sol Nascente/Pôr do sol se enquadra como LCZ 3, e foi selecionada por ser uma região urbana não planejada, que se estabeleceu a partir de invasões. As regiões selecionadas estão delineadas na figura 8.

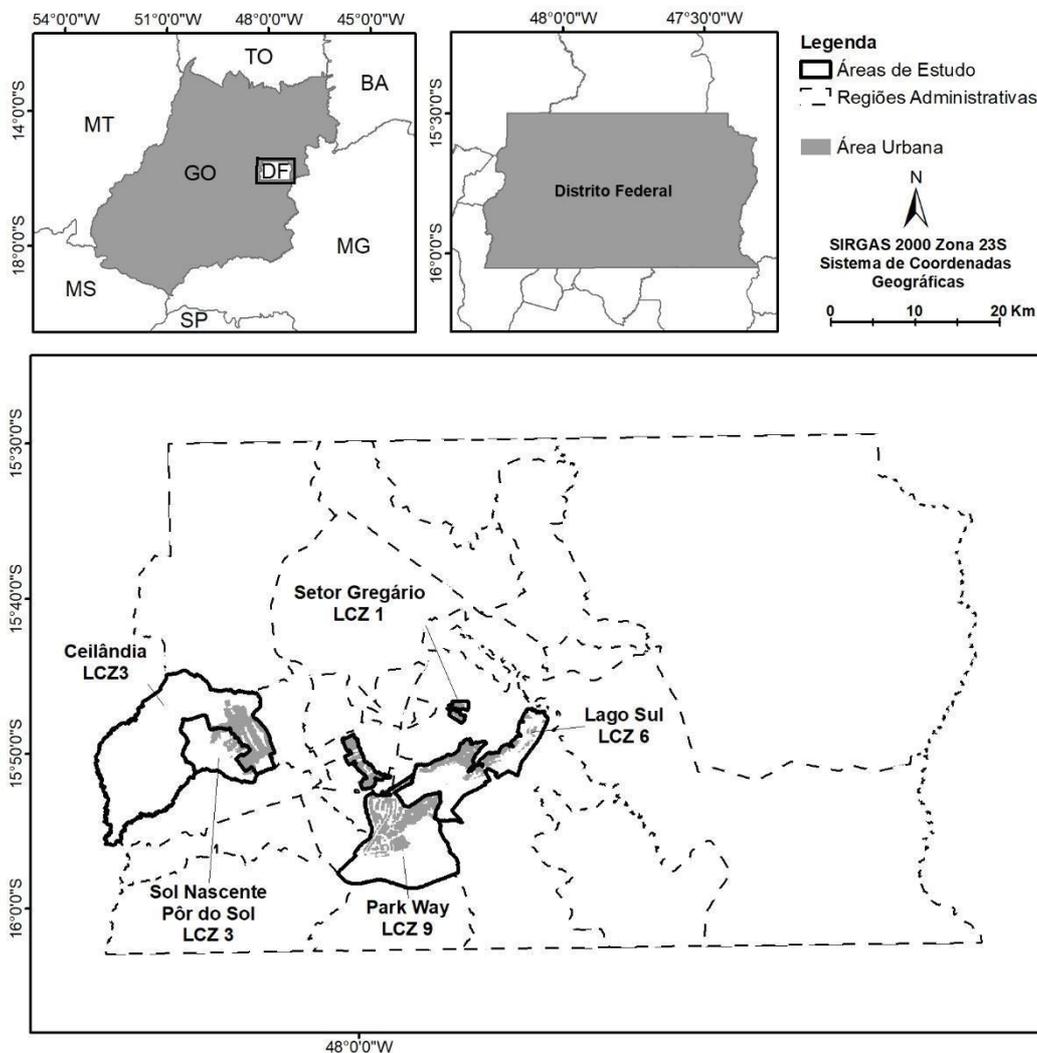


Fig. 8 – Mapa de localização das regiões de Ceilândia, Sol Nascente/Pôr do Sol, Setor Gregário, Lago Sul e Park Way em relação ao Distrito Federal.

Fig. 8 – Location map of Ceilândia, Sol Nascente/Pôr do Sol, Setor Gregário, Lago Sul e Park Way regions in Distrito Federal.

## 1. Descrição das áreas de estudo

O Setor Gregário está dentro da RA I, Plano Piloto. Caracteriza o centro urbano, local de encontro, trabalho, lazer e cultura. É definido a partir da intersecção dos Eixos Monumental e Rodoviário, e compreende a Plataforma Rodoviária e Setores de Diversões, Comerciais, Bancários, Hoteleiros, Médico-hospitalares, Autarquias, Rádio e Televisão. (CODEPLAN, 2018a). Foi concebido com o objetivo de criar um espaço urbano densamente utilizado e propício ao encontro. É composto por edificações de altos gabaritos (com exceção dos setores de diversão), pouca vegetação e muitas áreas impermeabilizadas, portanto, se classifica como LCZ 1.

Ceilândia (IX RA), classificada como LCZ 3, foi fundada na década de 1970 para realocar moradores de áreas com ocupação irregular, a partir da Campanha de Erradicação de Invasões – CEI, o primeiro projeto de relocação de áreas de invasão do DF. Foi criada oficialmente em outubro de 1989. Possui aproximadamente 23.000,00 hectares de área dos quais cerca de 5.000,00 são zona urbana, o que equivale a cerca de 20% do total. Possui quatro parques distribuídos na totalidade do território, dos quais três estão localizados no interior da zona urbana (CODEPLAN, 2018b). É uma região extremamente densa em termos de edificações, pois possui construções com variadas elevações, com afastamentos muito pequenos e pouca vegetação urbana. É uma das regiões urbanas mais populosas do Distrito Federal.

O Lago Sul (XVI RA), classificado como LCZ 6, foi originalmente criado para abrigar os oficiais da aeronáutica e os diretores da NOVACAP e foi regulamentado em 1994. Possui 18.342,78 hectares em

sua totalidade, 7.453,03 hectares de área urbana ocupada e sete parques urbanos distribuídos por toda a região. A ocupação urbana é formada principalmente de edificações de até dois pavimentos, é uma zona majoritariamente residencial, com largos afastamentos entre as edificações e grandes porções de áreas verdes (CODEPLAN, 2018c).

A região do Sol Nascente/Pôr do Sol (RA XXXII), classificada como LCZ 3, é umas das mais recentes Regiões Administrativas criadas no Distrito Federal. Foi oficializada em agosto de 2019. É uma região de invasão que cresceu exponencialmente a partir do início do anos 2000 de forma não planejada. Hoje tem o título de maior favela do país por número de domicílios (apesar de, tecnicamente, não ser uma favela, pois conta com projeto urbanístico aprovado e unidades imobiliárias registradas), possuindo a maior reunião de domicílios subnormais do Brasil, com mais de 32.000 mil unidades habitacionais (Portela *et al*, 2023).

Situada a aproximadamente 15 km do Plano Piloto, a RA XXIV oficialmente criada em dezembro de 2003, representa a região do Park Way. Também chamado de Setor de Mansões Park Way (SMPW), a região foi concebida para ser implantada por partes, sendo composta principalmente pelo uso residencial, formada por condomínios fechados, mansões e casas. O Park Way é caracterizado por loteamentos de 20.000 m<sup>2</sup>, sendo permitido o fracionamento das glebas em até oito lotes de 2.500 m<sup>2</sup> (CODEPLAN, 2012). Anteriormente era chamada de Mansões Suburbanas Park Way (MSPW) e era destinada a atividades tanto urbanas quanto rurais. O objetivo inicial da criação dessa região, foi a constituição de um cinturão verde ao redor do plano piloto (CODEPLAN, 2018d). Essa RA se classifica como LCZ 9.

Dentre as RAs citadas acima, Sol Nascente/Pôr do Sol foi a única que não teve prévio planejamento urbano ou demarcações de lotes, e cuja ocupação apresenta o maior crescimento territorial nos últimos 20 anos. As demais regiões urbanas estão consolidadas em seus respectivos territórios e não houve grande expansão territorial nas últimas duas décadas. No entanto, atualmente, todas as regiões possuem parâmetros urbanísticos de ocupação de solo declarados em lei.

### 1.1.1 Características das LCZs alvo do estudo

A LCZ 1 descreve a classe denominada “compacta de alta elevação”. Possui predominância de edifícios em altura e cobertura do solo impermeabilizada com pouca ou nenhuma presença de árvores e áreas verdes. Um importante diferenciador dessa classe é o tipo de cobertura do solo, que possui concreto, aço, pedra e vidro como materiais de recorrência (Stewart & Oke, 2012). Essa classe é mapeada em áreas do Setor Gregário do Plano Piloto e na RA Águas Claras (Werneck, 2022).

A LCZ 3 descreve a classe denominada “compacta de baixa elevação”. Possui construções adensadas de uso predominantemente residencial, com edifícios de até 3 pavimentos e cobertura do solo majoritariamente impermeabilizada com pouca ou nenhuma presença de árvores e áreas verdes (Stewart & Oke, 2012). Essa classe é comumente encontrada em áreas periféricas do DF, áreas com ocupações em processo de regularização fundiária e regiões que são vetores de crescimento urbano como a RA de Ceilândia. Caracteriza o padrão urbano mais comum no DF, com grandes extensões de área homogênea, sugerindo uma paisagem monótona (Werneck, 2022).

A LCZ 6 descreve a classe denominada “aberta de baixa elevação”. Essa classe é caracterizada pela abundância de área permeável com presença de árvores esparsas, arranjo aberto e isolado de edifícios de até 3 pavimentos com afastamentos regulares. Concreto, madeira, tijolo, aço, pedra e cerâmica são materiais comumente encontrados (Stewart & Oke, 2012). É o terceiro tipo urbano mais frequente no DF, incluindo regiões de uso misto e residenciais de médio e alto padrão, como Lago Sul e Lago Norte (Werneck, 2022).

A LCZ 9 descreve a classe denominada “ocupação esparsa com edificações pequenas ou médias”. Característico por arranjo esparso de edifícios de tamanhos variados e de baixa elevação, construídos em ambiente natural e solo predominantemente permeável (Stewart & Oke, 2012). É a classe que possui o segundo tipo urbano mais frequente no DF, observada no Park Way, no Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, Setor de Embaixadas e nas zonas de Área de Preservação Permanente (APP) às margens do Lago Paranoá. A área urbana de cada região, e sua respectiva LCZ, está indicada na figura 9 (Werneck, 2022).

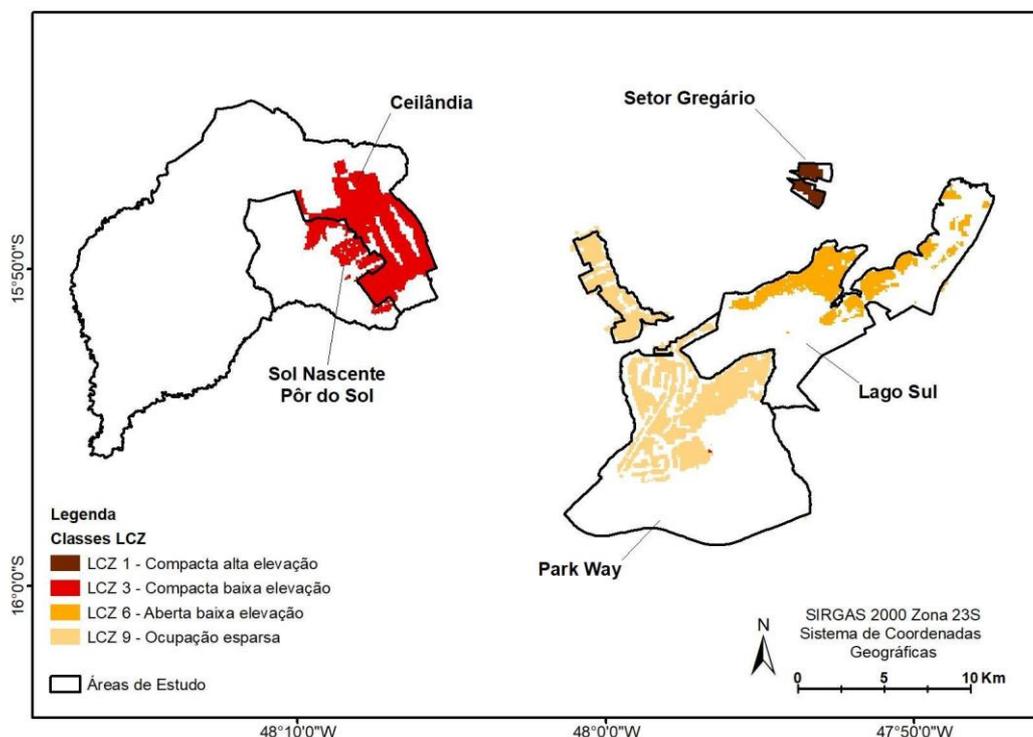


Fig. 9 – Classificação das regiões de Ceilândia, Sol Nascente/Pôr do Sol, Setor Gregário, Lago Sul e Park Way nas Zonas Climáticas Locais.

Fig. 9 – Local Climate Zones classification of Ceilândia, Sol Nascente/Pôr do Sol, Setor Gregário, Lago Sul e Park Way regions in Distrito Federal.

## 2. Coleta, tratamento e análise dos dados de temperatura

Utilizando linguagem de programação *Python* no ambiente *Google Colab*, associado ao Google Earth Engine (GEE), foi feito o processamento dos dados. O *Google Colab* permite acesso à base de dados do GEE de forma remota e possui ferramentas para processamento por programação em nuvem, em um ambiente organizado em notebooks.

Foram coletados os dados de temperatura das áreas de estudo, nos períodos da manhã, tarde, noite e madrugada em 3 pontos das 4 regiões de interesse, nos anos de 2003 a 2022, de forma a abranger um histórico temporal significativo, a fim de construir histogramas para melhor comparação dos dados.

Os dados diurnos foram adquiridos pelo sensor MODIS a bordo do satélite Aqua e processados a partir da coleção MODIS/061/MYD11A1. Os dados noturnos foram adquiridos pelo mesmo sensor, mas a bordo do satélite TERRA e seus dados foram processados a partir da coleção MODIS/061/MOD11A1. O pixel do sensor MODIS é de um quilômetro quadrado, portanto a pluralidade de alvos é diversa, já que em áreas urbanas a quantidade de alvos por área também é diversa. Após coleta, os dados brutos foram organizados em ambiente Excel para cálculo da média e posterior conversão em valores de temperatura, utilizando a fórmula: Dado bruto \* 0,02 – 273,15.

## 3. Seleção de pontos de coleta de dados

Foram definidos três pontos para cada região de estudo. Os pontos foram distribuídos ao longo das áreas urbanas de forma a contemplar maior abrangência da cidade, sem concentrar os pontos em um único local. Por isso foram espalhados nas extremidades e no centro de cada núcleo urbano. O pixel de cada ponto é mostrado na figura 10. É importante observar que as malhas urbanas das regiões de interesse se encontram inteiramente na porção plana ou suave ondulada das RAs. Portanto, todos os pontos abrangem regiões cuja declividade é menor que 8%.

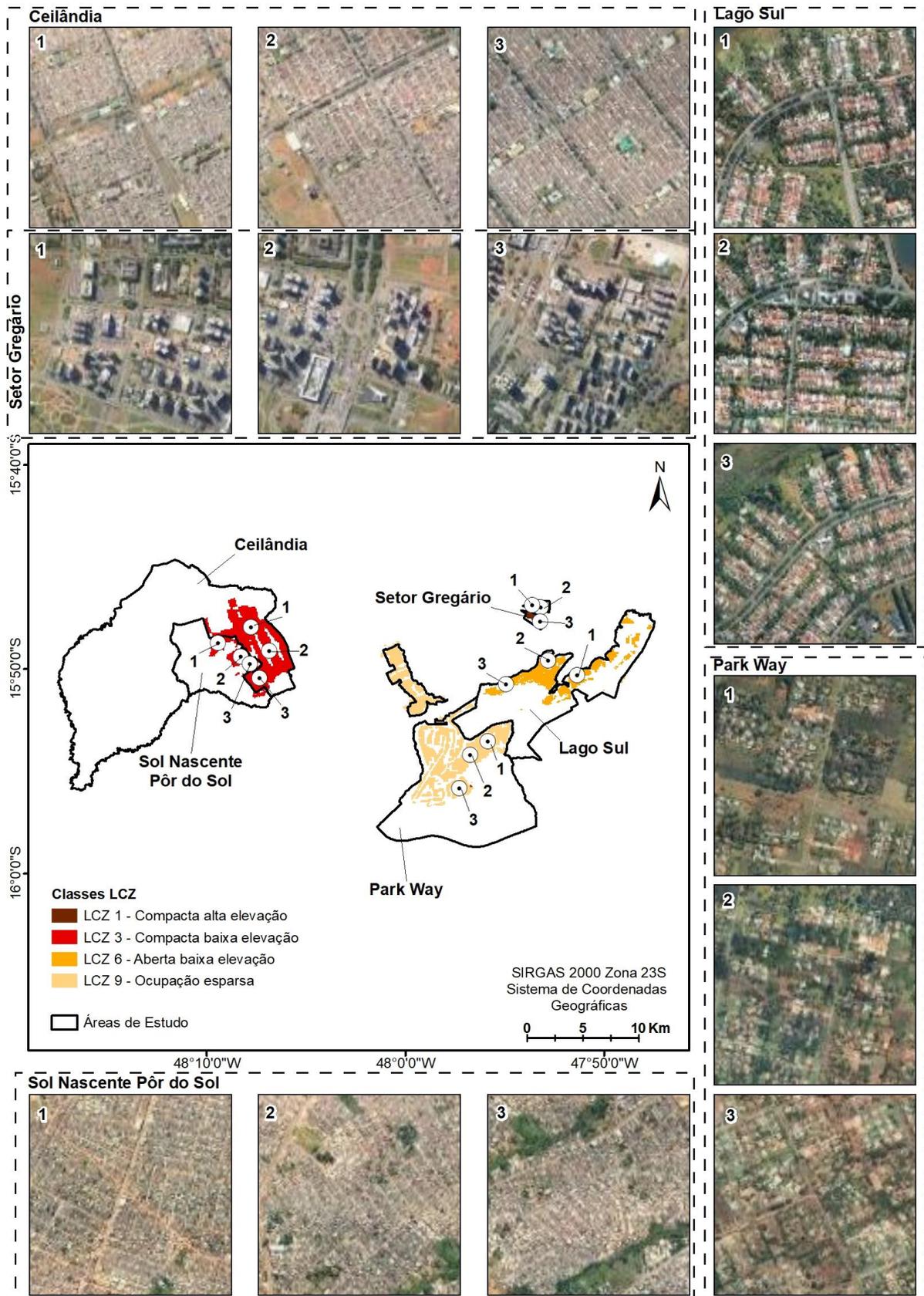


Fig. 10 – Distribuição de pontos e características dos pixels analisados nas regiões de Ceilândia, Sol Nascente/Pôr do Sol, Setor Gregário, Lago Sul e Park Way do Distrito Federal.

Fig. 10 – Point distribution and characterization of the analyzed pixels in Ceilândia, Sol Nascente/Pôr do Sol, Setor Gregário, Lago Sul e Park Way regions in Distrito Federal.

#### IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados obtidos, foram construídos gráficos de linha que apresentam o comportamento da temperatura de cada região de estudo. Cada momento do dia (manhã, tarde, noite e madrugada) é representado por uma linha identificada com o respectivo período. O eixo horizontal indica a escala de tempo, o eixo vertical indica a faixa de temperatura e os marcadores indicam a média de temperatura. É possível verificar semelhanças no comportamento da temperatura das áreas de estudo a partir do comportamento de cada linha nos gráficos. Observa-se maior semelhança no desenho das linhas que representam o comportamento da temperatura nos períodos de noite e madrugada, do que nas linhas que representam os períodos da manhã e tarde. Observa-se que nos períodos da tarde e manhã, existem muitos picos e quedas nos valores das médias de temperatura ao longo dos anos analisados em todas as regiões urbanas estudadas.

As regiões de Ceilândia e Sol Nascente/Pôr do Sol, estão localizadas em uma altimetria mais elevada, bem como possuem valores maiores de chuva acumulada em relação às demais regiões. Também se encontram em uma categoria de clima levemente diferente, sendo a estação seca no inverno nas regiões de Ceilândia e Sol Nascente/Pôr do Sol menos pronunciada do que nas demais. Portanto, ambas as regiões possuem maiores indicativos para apresentarem temperaturas mais amenas, se observados apenas os fatores naturais. No entanto, a partir da figura 11, é possível observar que Ceilândia tem as médias de temperatura mais altas em relação às demais regiões de estudo, seguida da região do Sol Nascente/Pôr do Sol. Indicando então que os fatores antrópicos possuem grandes interferências na temperatura.

Observa-se também que as temperaturas do Sol Nascente/Pôr do Sol apresentam um comportamento crescente, resultado da expansão urbana da região, que iniciou sua ocupação no início dos anos 2000.

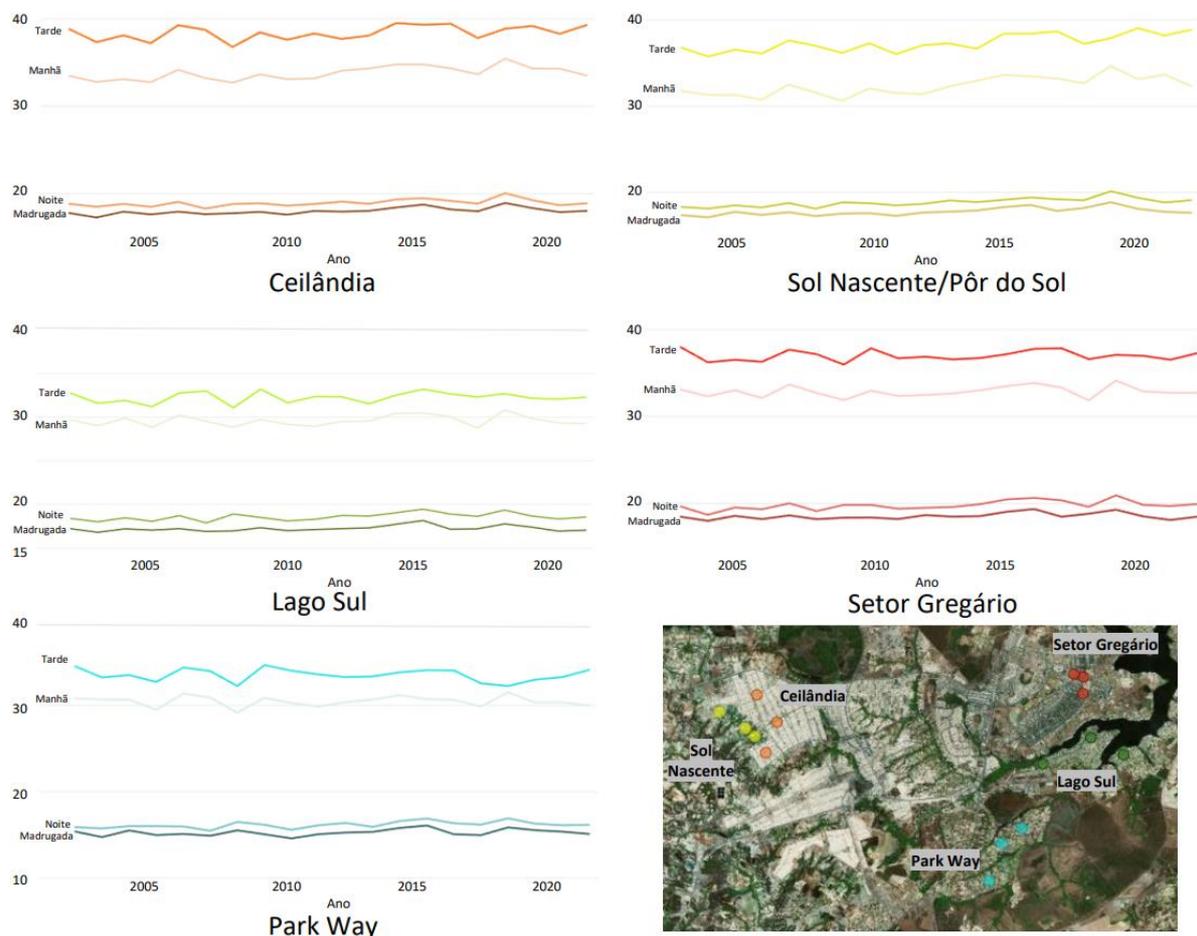


Fig. 11 – Gráficos de temperaturas das regiões de Ceilândia, Sol Nascente/Pôr do Sol, Setor Gregário, Lago Sul e Park Way no Distrito Federal ao longo de 20 anos (2003 a 2022).

Fig. 11 – Temperature charts for Ceilândia, Sol Nascente/Pôr do Sol, Setor Gregário, Lago Sul e Park Way regions in Distrito Federal over 20 years (2003 to 2022).

Algumas regiões, no entanto, possuem semelhanças no desenho de todas as linhas, indicando um comportamento térmico bastante semelhante. Nos gráficos das regiões de Ceilândia e Sol Nascente/Pôr do Sol, é possível observar uma tendência de aumento e diminuição da temperatura ao longo dos anos de forma padronizada, no entanto percebe-se, principalmente nos períodos da manhã e tarde, que as temperaturas de Ceilândia são maiores do que as do Sol Nascente/Pôr do Sol. Nos períodos da noite e madrugada as temperaturas não variam de forma considerável, conforme figura 12. Ambas as regiões se classificam como LCZ 3, e ambas possuem alta densidade de edifícios, pequenos espaçamentos entre construções, pouca presença de vegetação e muita presença de materiais impermeáveis como concreto. Essa morfologia pode explicar as semelhanças observadas entre as linhas de comportamento de temperatura das regiões. No entanto, o que chama atenção é que a região urbana de Ceilândia foi previamente idealizada em sua ocupação e o Sol Nascente/Pôr do Sol é um núcleo urbano não planejado. Logo, Ceilândia possui um tecido urbano diferente do Sol Nascente/Pôr do Sol, mas apesar disso, as temperaturas do Sol Nascente/Pôr do Sol são mais baixas. Uma possível explicação para esse resultado seria a hipótese de que, devido a região do Sol Nascente/Pôr do Sol ser fruto de antigas invasões, que ocorreram sem seguir leis ou parâmetros urbanísticos, a ocupação ocorreu em zonas próximas a cursos d'água e áreas de preservação permanente (APP), então a área urbana é circundada por vegetação, fazendo com que a temperatura seja mais baixa. Além disso, o nível de impermeabilização no Sol Nascente/Pôr do Sol é menor que na região de Ceilândia. Outro ponto a ser observado, é que a região de Ceilândia foi demarcada para receber um público marginalizado que antes ocupava regiões mais centrais da cidade, portanto a segregação socioespacial teve um peso no planejamento, e a temperatura não foi um fator relevante. Em áreas de vulnerabilidade socioeconômica, a falta de arborização, o tipo de construção, o sistema de coleta de lixo e questões ambientais como a poluição de nascentes não é tão visível quanto em regiões de alto padrão. Assim, mesmo que Ceilândia tenha sido previamente planejada, não houve um planejamento voltado ao conforto da população.

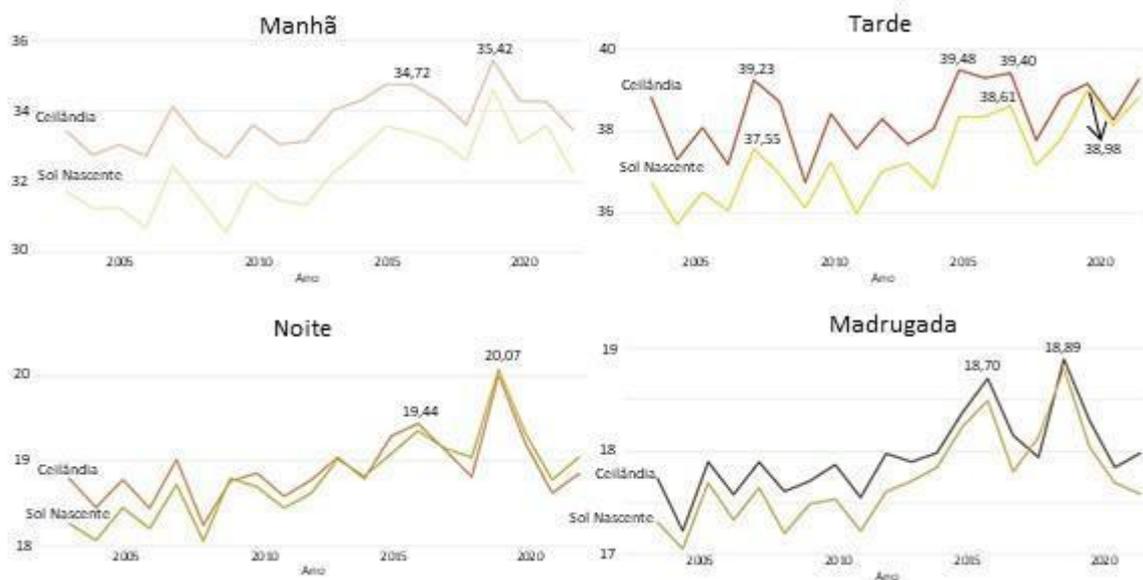


Fig. 12 – Gráfico do comportamento da temperatura nas regiões de Ceilândia e Sol Nascente/Pôr do Sol ao longo de 20 anos (2003 a 2022) separados por período do dia.

*Fig. 12 – Behavior temperature charts in Ceilândia and Sol Nascente/Pôr do Sol regions over 20 years (2003 to 2022) separated by day period.*

Também é possível observar semelhanças nos gráficos das regiões do Lago Sul e Setor Gregário conforme mostra a figura 13. Os gráficos de médias de temperatura dessas regiões possuem o mesmo desenho, no entanto com valores mais altos para o Setor Gregário. A temperatura média mais alta dentre as 3 regiões é observada no Setor Gregário em 2003 com 37,91°C, seguida por 2010 e 2017, com 37,77°C. Embora constituam tecidos urbanos completamente diferentes, ambas as regiões são planejadas e possuem um desenho urbano organizado, no entanto o Lago Sul possui maior presença de vegetação, menor densidade urbana e maior espaçamento entre as edificações, por esse motivo o

comportamento do gráfico de média de temperatura é o mesmo, variando apenas a faixa. O gráfico da região do Park Way também possui semelhanças com as regiões do Lago Sul e Setor Gregário, com exceção da linha do período da tarde do Park Way, que apresenta um comportamento diferente das demais a partir do ano de 2018. A partir de 2019, na região do Park Way, as linhas do período da manhã e da tarde têm um comportamento oposto entre si, enquanto a média de temperatura da tarde tende a aumentar, a média de temperatura da manhã tende a diminuir.

Observa-se na figura 13 que as linhas da região do Setor Gregário permanecem acima das demais linhas de temperatura em todos os momentos do dia. No entanto, as linhas das regiões do Park Way e Lago Sul trocam de lugar. Nos períodos da manhã e tarde, o Park Way apresenta temperaturas mais elevadas que o Lago Sul. Mas no período da noite e madrugada, o inverso acontece, e o Lago Sul apresenta temperaturas mais altas. Esse resultado é consistente com o que Manteghi *et al* (2015) indica em relação ao comportamento térmico da água. O Lago Paranoá resfria a região do Lago Sul durante o dia e quando o impacto de resfriamento enfraquece ao longo da noite, a região fica mais quente.

Observa-se que a média de temperatura no ano de 2010 é a mais alta em duas das cinco regiões estudadas no período da tarde, nas regiões do Lago Sul e Park Way, sendo que no Lago Sul o mesmo valor se repete também em 2016, conforme mostra a figura 13. Nota-se que 2016 e 2019 são anos que apresentam picos na temperatura de todas as regiões, em todos os períodos com exceção da tarde, sendo 2019 o ano de mais alta temperatura para a maioria dos períodos, conforme observado nas figuras 12 e 13. 2010 é um ano de altas temperaturas no período da tarde para as regiões do Lago Sul, Park Way e Setor Gregário. Esse resultado condiz com os dados calculados pelo índice ONI, que mostram ocorrências do fenômeno ENOS em todos os períodos de pico de temperatura observados nos dados aqui apresentados. Observa-se, portanto, que os dados apresentados nos gráficos não evidenciam anomalias de temperatura em nenhuma das regiões estudadas.



Fig. 13 – Gráfico do comportamento da temperatura nas regiões do Lago Sul, Park Way e Setor Gregário ao longo de 20 anos (2003 a 2022) separados por período do dia.

Fig. 13 – Behavior temperature charts in Lago Sul, Park Way e Setor Gregário regions over 20 years (2003 to 2022) separated by day period.

A variação de temperatura observada por Mahdavifard *et al* (2022) no período da pandemia foi também registrada nas regiões do Lago Sul e Setor Gregário, isto é, a temperatura média diminuiu em 2021 em relação ao ano anterior e aumentou no ano seguinte. Em Ceilândia e Sol Nascente/Pôr do Sol as médias de temperatura se manifestam da mesma forma nos períodos da tarde, noite e madrugada, conforme mostra a figura 14. Essa queda de temperatura poderia ser atribuída à pandemia da COVID-19. No entanto, da mesma forma que foi observado por Shojaei *et al* (2022), as médias de temperatura da manhã para Ceilândia e Sol Nascente/Pôr do Sol apresentam comportamento contrário, a temperatura aumenta em 2021 em relação a 2020 e depois diminui. Já para a região do Park Way, não

foi observado comportamento padrão entre as linhas de temperatura, pois cada período do dia se comporta de uma forma diferente. Era esperado que a variação mais expressiva nesse período de pandemia fosse observada da mesma forma que Mahdavi *et al* (2022) no Setor Gregário, já que essa é uma região central com atividades predominantemente voltadas ao trabalho, e com o advento da pandemia a quantidade de circulação de automóveis e pessoas diminuiu de forma muito significativa. No entanto, a variação observada foi tímida, e menor do que outras variações observadas no gráfico em outros anos. Portanto, não é possível afirmar que a pandemia teve efeito na temperatura nas regiões de estudo na escala estudada.

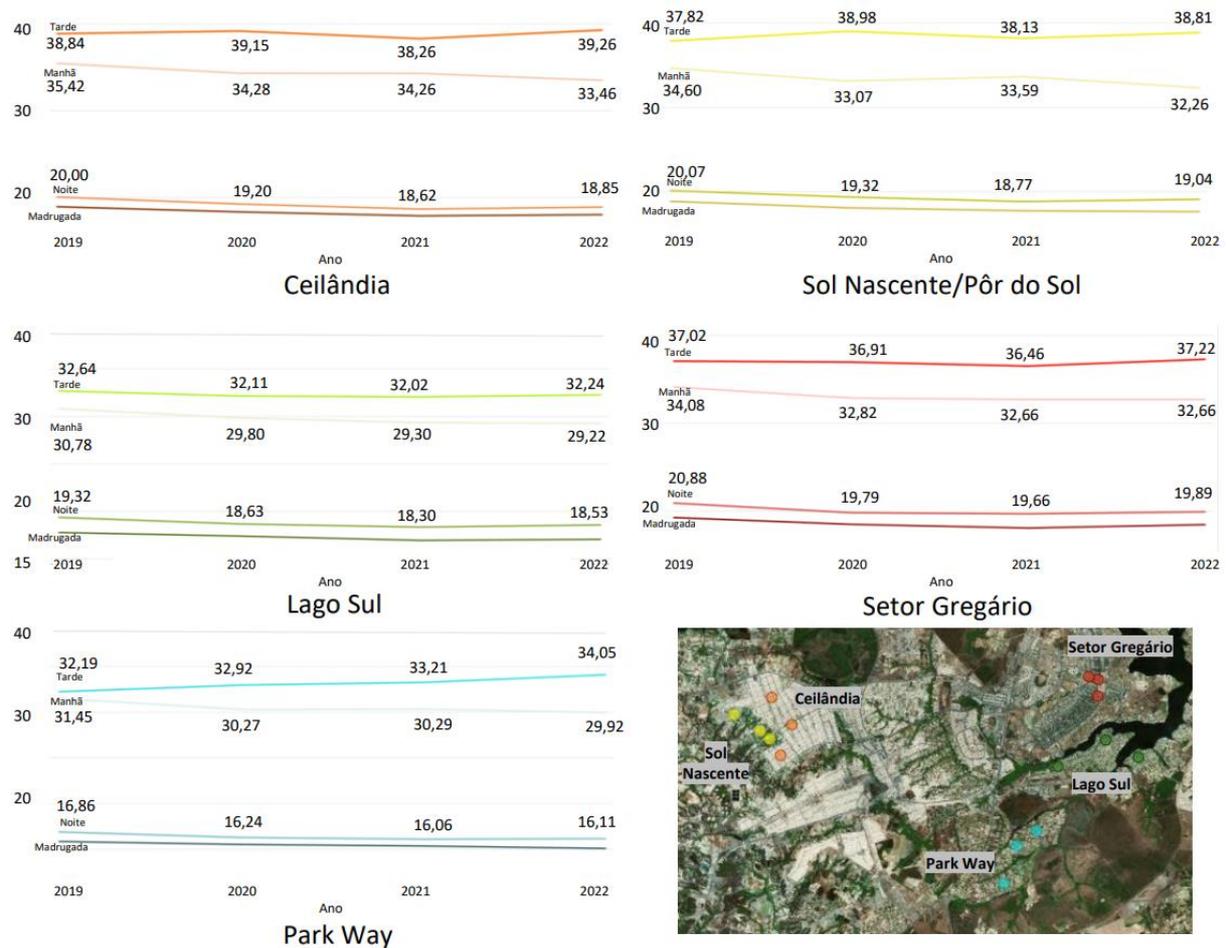


Fig. 14 – Gráficos de temperaturas das regiões de Ceilândia, Sol Nascente/Pôr do Sol, Setor Gregário, Lago Sul e Park Way no Distrito Federal para os anos de 2019 a 2022.

Fig. 14 – Temperature chart of Ceilândia, Sol Nascente/Pôr do Sol, Setor Gregário, Lago Sul e Park Way regions in Distrito Federal over 2019 to 2022.

Ao comparar LCZ com diferentes densidades construtivas e cobertura do solo, mas altura de edificações opostas, como a LCZ 1 e 3, os resultados indicam que a maior influência na temperatura dentre os fatores analisados, é a vegetação. A temperatura da região de Ceilândia (LCZ 3 - Compacta de baixa elevação) se mostrou mais elevada que a do Setor Gregário (LCZ 1 - Compacta de alta elevação) durante o dia. No período noturno a temperatura do Setor Gregário apresentou temperaturas mais altas, conforme figura 15. Esse resultado é interessante, pois era esperado que o Setor Gregário tivesse temperaturas mais altas em todos os períodos do dia, já que possui uma morfologia densa com altos edifícios, altas porções de impermeabilização do solo e circulação de pessoas e automóveis mais intensa que a região de Ceilândia. No entanto, percebe-se que mesmo com essas características, as temperaturas são mais amenas no período diurno, possivelmente devido à presença de vegetação encontrada nesse setor, que apesar de pequena, ainda é mais alta que Ceilândia. Outra possibilidade é o resultado do comportamento térmico do asfalto sombreado, pois a região do Setor Gregário possui mais área de calçada sombreada ao longo do dia pelos edifícios mais altos e pela

vegetação do que a região de Ceilândia, No período noturno, no entanto, a temperatura é mais alta, pois o calor do dia fica mantido entre os altos e agrupados edifícios.

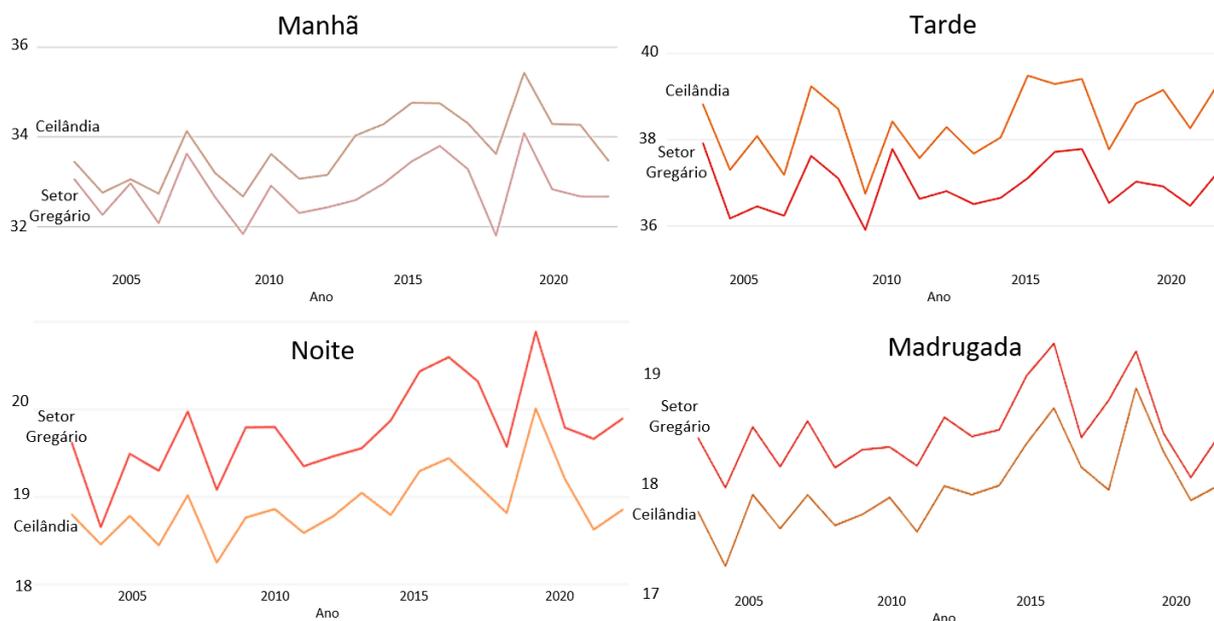


Fig. 15 – Gráficos de temperaturas das regiões de Ceilândia e Setor Gregário no Distrito Federal.

*Fig. 15 – Temperature chart of Ceilândia and Setor Gregário regions in Distrito Federal.*

## V. CONCLUSÃO

O presente alcança os objetivos ao avaliar a evolução temporal, ao longo de 20 anos, da temperatura em cidades do Distrito Federal que possuem ocupação e desenho urbano distintos.

Mostrou que, apesar de Ceilândia ser um centro urbano mais organizado do que o Sol Nascente/Pôr do Sol, ambas as regiões se classificam no mesmo tipo de LCZ. Por esse motivo seus gráficos de temperatura possuem um comportamento semelhante. As médias de temperaturas de Ceilândia se mostraram mais altas do que as do Sol Nascente/Pôr do Sol, apesar da primeira ser uma região planejada e a segunda uma região resultante de invasões. Isso ocorre possivelmente devido ao fato de o Sol Nascente/Pôr do Sol ser uma invasão em zona próxima a cursos d'água e Áreas de Preservação Permanente, portanto a área urbana é circundada por vegetação, fazendo com que a temperatura seja mais baixa do que a observada em Ceilândia, que possui pouca vegetação.

Apesar de a pandemia da COVID-19 não ter sido objeto de estudo, ela está dentro do recorte temporal estudado. Os resultados não mostram o efeito da pandemia de forma significativa em todas as regiões de estudo, principalmente no Setor Gregário, que é uma região de muita circulação de pessoas e automóveis, e que sofreu uma queda bastante grande dessa circulação no período de pandemia. Assim era esperada uma maior alteração da temperatura para essa região. Porém, a queda da média de temperatura observada foi menor do que em diversos outros momentos ao longo de outros anos. Conclui-se, portanto, que não é possível afirmar que a COVID-19 teve influência significativa no comportamento da temperatura na escala e regiões estudadas.

Os resultados demonstram que a presença de vegetação exerce uma das maiores influências positivas sobre o conforto térmico urbano. Durante o dia, verificou-se que a temperatura na região de Ceilândia foi mais elevada do que no Setor Gregário. No entanto, era esperado que o Setor Gregário apresentasse temperaturas mais altas devido à sua morfologia densa, com edifícios altos, grande proporção de áreas impermeáveis no solo e intensa circulação de pessoas e veículos em comparação com a região de Ceilândia. Surpreendentemente, apesar dessas características, as temperaturas no Setor Gregário são mais amenas durante o dia, o que pode ser atribuído à presença de vegetação nessa área. Embora a quantidade de vegetação seja pequena, ela ainda é mais significativa do que em Ceilândia.

Os resultados obtidos levantam questões intrigantes e demandam investigações futuras para uma compreensão mais aprofundada. Além disso, indicam que a maior interferência na temperatura

em áreas urbanas é a presença da vegetação, e não necessariamente o planejamento urbano prévio à ocupação. Confirma então a vegetação como um critério fundamental no planejamento das cidades.

O tema de estudo fornece informações valiosas para o planejamento urbano de qualidade. Ajuda a compreender as causas da variação de temperatura em diferentes áreas urbanas, podendo ajudar planejadores a desenvolver estratégias para mitigar os efeitos das ilhas de calor urbanas, bem como desenvolver soluções para tornar as cidades mais habitáveis e confortáveis.

Tendo em vista os resultados apresentados, sugere-se, como desdobramentos futuros, estudar a região do Sol Nascente/Pôr do Sol mais profundamente, utilizando dados com escala de detalhamento maior. A região do Sol Nascente/Pôr do Sol é interessante de ser analisada pois a área urbana é recente (menos de 20 anos), portanto, no início dos anos 2000, não era ainda muito desenvolvida, e cresceu de forma exponencial. Portanto, pode ser feito um estudo do antes e depois da ocupação urbana, utilizando dados de uso do solo e recursos hídricos, para avaliar a interferência da urbanização em áreas naturais..

## CONTRIBUTOS DOS AUTORES

Catarina Balduino Sollaci: Conceptualização, Metodologia, Validação, Análise formal, Investigação, Recursos, Curadoria dos dados, Escrita – preparação do esboço original, Redação – revisão e edição.

Gustavo Macedo de Mello Baptista: Conceptualização, Metodologia, Análise formal, Recursos, Curadoria dos dados, Redação – revisão e edição.

Gustavo Henrique Soares Ferreira: Software - Desenvolvimento de script.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CODEPLAN. Diretoria de Estudos Urbanos e Ambientais - DEUDRA. (2018a, february). RA I - Plano Piloto. Estudo Urbano Ambiental Plano Piloto [Urban environmental studies of the Plano Piloto]. <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/Estudo-Urbano-Ambiental-Plano-Piloto.pdf>
- CODEPLAN. Diretoria de Estudos Urbanos e Ambientais - DEUDRA. (2018b, february). RA IX - Ceilândia. Estudo Urbano Ambiental Ceilândia [Urban environmental studies of Ceilândia] <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/Estudo-Urbano-Ambiental-Ceil%C3%A2ndia.pdf>
- CODEPLAN. Diretoria de Estudos Urbanos e Ambientais - DEUDRA. (2018c, february). RA XVI - Lago Sul. Estudo Urbano Ambiental Lago Sul [[Urban environmental studies of Lago Sul ] <https://www.ipe.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/Estudo-Urbano-Ambiental-Lago-Sul.pdf>
- CODEPLAN. Diretoria de Estudos Urbanos e Ambientais - DEUDRA. (2018d, february). RA XXIV - PARK WAY. Estudo Urbano Ambiental Park-Way [[Urban environmental studies of the Park Way]. <https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/Estudo-Urbano-Ambiental-Park-Way.pdf>
- CODEPLAN. (2012, february) Distrito Federal em síntese: informações socioeconômicas e geográficas - 2012 [Federal District synthesis: socioeconomic and geographic information]. <https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/S%C3%ADntese-de-Infoma%C3%A7%C3%B5es-Socioecon%C3%B4micas-e-Geogr%C3%A1ficas-2012.pdf>
- CODEPLAN (Brasil). Caracterização ambiental. In: CODEPLAN (Brasil). Atlas do Distrito Federal, 2020. Disponível em: <https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Atlas-do-Distrito-Federal-2020-Apresenta%C3%A7%C3%A3o-e-Cap%C3%ADtulo-1.pdf> Acesso em: 17/07/2023
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1)
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020). Regiões de Influência das Cidades [Cities Regions of Influence] Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15798-regioes-de-influencia-das-cidades.html> Acesso em: 25/03/2023
- Instituto Nacional de Meteorologia (2023). Clima. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/> Acesso em: 03/07/2022
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE. (2023, march) Condições atuais do Enos: enfraquecimento do La Niña e início de condições de neutralidade [Enos current conditions: La Niña weakening and onset of neutrality conditions] El Niño e La Niña - CPTEC/INPE. <http://enos.cptec.inpe.br/>
- Leal, J. M., Aquino, C.M., & Silva, F. (2019). Uso do mapa de Declividade e do Modelo Digital de Elevação na análise do relevo do município de São Miguel do Tapuío - Piauí [Use of the Declivity map and Digital Elevation Model in the analysis of the relief of the municipality of São Miguel do Tapuío - Piauí]. Revista de Geociências do Nordeste REGNE, 5(2), 97-107. <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/18416/12099>
- MahdaviFard, M., Jafari, S., Kamran, K. V., & Alavipanah, S. (2022). The effect of Covid-19 epidemic on the Land surface temperature of Asaluyeh Industrial City with an approach to image processing in Google Earth Engine Platform.

- Intercontinental Geoinformation Days, 4, 242-245.  
<https://publish.mersin.edu.tr/index.php/igd/article/view/603>
- Maniçoba, R. (2019) Criação de Regiões Administrativas no Distrito Federal e o histórico da definição de seus limites geográficos [The creation of Federal District administration regions and the history of their geographic delimitation]. *Revista Eletrônica: Tempo - Técnica - Território*, 10(2).  
<https://www.gestaoesaude.unb.br/index.php/ciga/article/view/33529>
- Manteghi, G., Iimit, H.B., & Remaz, D. (2015). Water bodies an urban microclimate: a review. *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 9, 1-12. <https://doi.org/10.5539/MAS.V9N6P>
- Nascimento, D., Oliveira, I., & Luiz, G. (2017). Panorama dos sistemas de classificação climática e as diferentes tipologias climáticas referentes ao estado de Goiás e ao Distrito Federal/Brasil [Panoramic view of climate classification systems and various climatic types of de brazilian Federal District and Goiás state]. *Élisée - Revista de Geografia da UEG*, 5(2), 59-86. <https://www.revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/5769>
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOOA). National Weather Service. Climate Prediction Center (USA). (2023, march) Historical El Nino / La Nina episodes (1950-present) cold & warm episodes by season.  
[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)
- Portela, M., Ferreira, F., & Travassos, E. (2023, march). Como é viver no Sol Nascente/Pôr do Sol: considerada a maior favela do Brasil [How is to live in Sol Nascente/Pôr do Sol: considered as the largest favela in Brasil]  
<https://www.correiobraziliense.com.br/cidades-df/2023/03/5081035-como-e-viver-no-sol-nascente-considerado-a-maior-favela-do-brasil.html>
- Shojaei, S., Ashofteh, P., Dwijendra, N.K.A., Melesse, A., Shahvaran, A., Shojaei, S., ...Homayoonnezh, I. (2022). Impacts on global temperature during the first part of 2020 due to the reduction in human activities by COVID-19. *Air, Soil and Water Research*, 15, 1-14. <https://doi.org/10.1177/11786221221101901>
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900. <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Tzavali, A., Paravantis, J. P., Mihalakakou, G., Fotiadi, A., & Stigka, E. (2015). Urban heat island intensity: A literature review. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(12b), 4537-4554. [https://www.researchgate.net/profile/Iohn-Paravantis/publication/298083233\\_Urban\\_heat\\_island\\_intensity\\_A\\_literature\\_review/links/586398b308ae8fce490b67f1/Urban-heat-island-intensity-A-literature-review.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Iohn-Paravantis/publication/298083233_Urban_heat_island_intensity_A_literature_review/links/586398b308ae8fce490b67f1/Urban-heat-island-intensity-A-literature-review.pdf)
- Werneck, D. (2022). Variabilidade da temperatura de superfície diurna entre zonas climáticas locais (LCZ): um estudo para a área urbana do Distrito Federal [Variability of daytime surface temperature among local climatic zones: study for the urban area of the Federal District] [Tese de doutoramento, Universidade de Brasília]. Repositório da Universidade de Brasília. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/45320>
- Zanoni, V., & Sánchez, J. (2020). Caracterização de dados e arquivos climáticos de Brasília para simulação higrótérmica. [Characterization of Brasilia climate data and files for hygrothermal simulation] In Silva, C., Sales, G., Cronemberge, J., & Zanoni, V. (Eds.). *Simulação, ambiente e energia no espaço construído* (pp.55-98). Editora Universidade de Brasília, 2020. p. 55-98.  
[https://www.researchgate.net/publication/345858231\\_Caracterizacao\\_de\\_dados\\_e\\_arquivos\\_climaticos\\_de\\_Brasilia\\_para\\_simulacao\\_higrotermica](https://www.researchgate.net/publication/345858231_Caracterizacao_de_dados_e_arquivos_climaticos_de_Brasilia_para_simulacao_higrotermica)

<sup>i</sup> A morfologia urbana é o estudo da forma física e da estrutura das áreas urbanas. Analisa o layout, organização e design das cidades e como elas se transformam ao longo do tempo. Pode ser analisada em diferentes escalas, desde o edifício individual até a rede viária, bairro, cidade e até a região. Abrange estudos de uso e ocupação do solo, tipologias de construção, sistemas de transporte e a relação entre os ambientes naturais e construídos.

<sup>ii</sup> O efeito de ilha de calor urbana é o fenômeno que explica a tendência que as áreas urbanas têm de ser mais quentes do que as áreas rurais circundantes devido as atividades humanas realizadas em solo urbano. A construção de edifícios, drástica mudança no uso do solo e emissões de gases provenientes do transporte e indústria, são algumas das atividades humanas que contribuem para o aumento da temperatura urbana.

<sup>iii</sup> A capital nacional possui variadas densidades urbanas, é estruturada em diferentes escalas, criadas para organizar o espaço e conferir parâmetros de uso e ocupação do solo particulares a cada uma das escalas. A escala monumental abrange todo o eixo monumental, da Praça dos Três Poderes à Praça do Buriti. É o local que abriga os principais edifícios político-administrativos da cidade, que representam os três poderes do Estado, dispostos como ponto focal ao final de um eixo único, atribuindo a concepção da monumentalidade. A escala residencial é composta por edifícios residenciais multifamiliares de seis pavimentos nas quadras 100, 200 e 300 e de três pavimentos nas 400, distribuídos nas superquadras, organizadas numericamente do centro da cidade aos extremos. A escala gregária localiza-se na bifurcação do eixo rodoviário e monumental. Comporta diversos setores como o de diversão, comercial, bancário, hoteleiro, hospitalar, de autarquia, de rádio e televisão e a plataforma rodoviária, local de principal acesso da população do entorno para dentro do plano. A escala bucólica não possui limites definidos, penetra todas as demais escalas e representa os espaços vazios que são preenchidos com o verde urbano.

## REREFÊNCIAS

AZEVÊDO, G e NEVES, C (2014). A PAISAGEM DO PLANO PILOTO DE BRASÍLIA A PARTIR DE SUAS ESCALAS. **Conservação br Seminário da Rede 1**, p. 137-144.

BARROS, Humberto Gomes de. **Quadrilátero Cruls, território complementar do Distrito Federal. 1992.**

BRANDÃO, L. K. de V.; BARBOSA, R. V. R. Relação entre morfologia urbana e microclima a partir de cenários parametrizados em cidade de clima tropical de savana. **Diversitas Journal**, [S. l.], v. 8, n. 1, 2023. DOI: 10.48017/dj.v8i1.2368. Disponível em: [https://diversitasjournal.com.br/diversitas\\_journal/article/view/2368](https://diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/2368). Acesso em: 3 jun. 2023.

CASTILLO, R. (2009). **A imagem de satélite: do técnico ao político na construção do conhecimento geográfico**. Pro-Posições, Campinas, v. 20, n. 3 (60), p. 61-70, set./dez. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pp/a/GspknGbScF9F7cGXFZDWFNc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 jul. 2023.

CODEPLAN. **Distrito Federal em síntese: informações socioeconômicas e geográficas – 2012**. Brasília, fev. 2012. Disponível em: <https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/S%C3%ADntese-de-Inforna%C3%A7%C3%B5es-Socioecon%C3%B4micas-e-Geogr%C3%A1ficas-2012.pdf> Acesso em: : mar. 2021

CODEPLAN. Diretoria de Estudos Urbanos e Ambientais - DEUDRA. **RA XVI – Lago Sul. Estudo Urbano Ambiental Lago Sul**. Brasília, fev. 2018. Disponível em: <https://www.ipe.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/Estudo-Urbano-Ambiental-Lago-Sul.pdf> Acesso em: ago. 2021

CODEPLAN. Diretoria de Estudos Urbanos e Ambientais - DEUDRA. **RA XXIV – PARK WAY. Estudo Urbano Ambiental Park-Way**. Brasília, fev. 2018. Disponível em: <https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/Estudo-Urbano-Ambiental-Park-Way.pdf> Acesso em: ago. 2021.

CODEPLAN. Diretoria de Estudos Urbanos e Ambientais - DEUDRA **RA I – Plano Piloto. Estudo Urbano Ambiental Plano Piloto**. Brasília, fev. 2018. Disponível em: <<http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/Estudo-Urbano-Ambiental-Plano-Piloto.pdf> > Acesso em: ago. 2021.

CODEPLAN. Diretoria de Estudos Urbanos e Ambientais - DEUDRA **RA IX Ceilândia. Estudo Urbano Ambiental Ceilândia**. Brasília, fev. 2018. Disponível em: <<http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/Estudo-Urbano-Ambiental-Ceil%C3%A2ndia.pdf> > Acesso em: ago. 2021.

CODEPLAN (Brasil). **Caracterização ambiental**. In: CODEPLAN (Brasil). Atlas do Distrito Federal, 2020. Disponível em: <https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Atlas-do-Distrito-Federal-2020-Apresenta%C3%A7%C3%A3o-e-Cap%C3%ADtulo-1.pdf> Acesso em: 17/07/2023

COSTA, C. e LEE, S. The Evolution of Urban Spatial Structure in Brasília: Focusing on the Role of Urban Development Policies. **Department of Urban Planning and Engineering, Hanyang University**. 2019, 11, 553; DOI:10.3390/su11020553. Disponível em: [https://pdfs.semanticscholar.org/633c/812488bba1c15d3dd4888a725b3624f08738.pdf?\\_gl=1\\*1y39vdz\\*\\_ga\\*MTQ2NDg3MTM2NC4xNjg5NjQwNjcx\\*\\_ga\\_H7P4ZT52H5\\*MTY4OTY0MDY3MS4xLjAuMTY4OTY0MDY3My41OC4wLjA](https://pdfs.semanticscholar.org/633c/812488bba1c15d3dd4888a725b3624f08738.pdf?_gl=1*1y39vdz*_ga*MTQ2NDg3MTM2NC4xNjg5NjQwNjcx*_ga_H7P4ZT52H5*MTY4OTY0MDY3MS4xLjAuMTY4OTY0MDY3My41OC4wLjA). Acesso em: ago. 2022.

Ching, J., G. Mills, B. Bechtel, L. See, J. Feddema, X. Wang, C. Ren, O. Brousse, A. Martilli, M. Neophytou, P. Mouzourides, I. Stewart, A. Hanna, E. Ng, M. Foley, P. Alexander, D. Aliaga, D. Niyogi, A. Shreevastava, P. Bhalachandran, V. Masson, J. Hidalgo, J. Fung, M. Andrade, A. Baklanov, W. Dai, G. Milcinski, M. Demuzere, N. Brunzell, M. Pesaresi, S. Miao, Q. Mu, F. Chen, and N. Theeuwes. WUDAPT: An Urban Weather, Climate, and Environmental Modeling Infrastructure for the Anthropocene. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 99, 1907–1924, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0236.1>

DEMUZERE, M.; BECHTEL, B.; MIDDEL, A.; MILLS, G. Mapping Europe into local climate zones. *PLoS one*, 14(4): e0214474, 2019. Disponível em: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0214474>

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1)

FLORENZANO, T.G. Iniciação em sensoriamento remoto. **São Paulo: Oficina de textos**, 2011.

HIDALGO, J., LEMONSU, A. e MASSON, V. Between progress and obstacles in urban climate interdisciplinary studies and knowledge transfer to society. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1436: p. 5-18, 2019. Disponível em: doi:10.1111/nyas.13986

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Regiões de Influência das Cidades**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15798-regioes-de-influencia-das-cidades.html> Acesso em: mar, 2023

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Condições atuais do Enos: enfraquecimento do La Niña e início de condições de neutralidade**. São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: <El Niño e La Niña - CPTEC/INPE> Acesso em: 27 mar. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **Clima**. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/> Acesso em: mar, 2023

JATOBÁ, SÉRGIO ULISSES. Densidades Urbanas nas Regiões Administrativas do Distrito Federal. **Companhia de Planejamento do Distrito Federal – CODEPLAN**. Brasília, fevereiro de 2017.

MACIEL, T. T., BARBORA, B. C. Áreas verdes urbanas: história, conceitos e importância ecológica. **CES REVISTA, Juiz de Fora**, v. 29, n. 1. p. 30-42, jan./jul. 2015 – ISSN 1983-1625

MAHDAVIFARD, M. et al. The effect of Covid-19 epidemic on the Land surface temperature of Asaluyeh Industrial City with an approach to image processing in Google Earth Engine Platform. **Intercontinental Geoinformation Days**, v.4, p.242-245, 2022. Disponível em: <https://publish.mersin.edu.tr/index.php/igd/article/view/603>. Acesso em: 10/02/2023

MANIÇOBA, R. de S. Criação de Regiões Administrativas no Distrito Federal e o histórico da definição de seus limites geográficos. **Revista Eletrônica: Tempo - Técnica – Território**, v. 10, n. 2, 2020. Disponível em: <https://www.gestaoesaude.unb.br/index.php/ciga/article/view/33529>. Acesso em: 26 abr. 2022.

MOUDON, A. V. Urban morphology as an interdisciplinary bridge. **Urban morphology** (1997) 1, 3-10.

NASCIMENTO, D.; OLIVEIRA, I.; LUIZ, G. Panorama dos sistemas de classificação climática e as diferentes tipologias climáticas referentes ao estado de Goiás e ao Distrito Federal/Brasil. *Élisée - Revista de Geografia da UEG*, v. 5, n. 2, p. 59-86, 2017. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/5769> Acesso em: Set. 2022.

NATIONAL WEATHER SERVICE. **Climate Prediction Center (USA). Historical El Nino / La Nina episodes (1950-present) cold & warm episodes by season.** Disponível em: [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php). Acesso em: 12/02/2023

NATIONAL WEATHER SERVICE. Climate Prediction Center (USA). **Historical El Nino / La Nina episodes (1950-present) cold & warm episodes by season.** Disponível em: [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php) Acesso em:

NUCCI, J.C. Qualidade ambiental e adensamento urbano. *Humanitas*, São Paulo - SP, 2001.

OLIVEIRA, C.H. **Planejamento ambiental na cidade de São Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes: diagnóstico e propostas.** [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 1996

OLIVEIRA, M. O desenho da cidade: contribuição para o seu estudo. **Colóquio Internacional Universo Urbanístico Português 1415-1822-Actas**, 2001. Acesso em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/70145>

PORTELA, M.; FERREIRA, F.; TRAVASSOS, E. Como é viver no Sol Nascente: considerada a maior favela do Brasil. **Correio Braziliense**, Brasília, 20 mar 2023. Disponível em: <https://www.correio braziliense.com.br/cidades-df/2023/03/5081035-como-e-viver-no-sol-nascente-considerado-a-maior-favela-do-brasil.html>. Acesso em: abr, 2023

QIAN, Y., CHAKRABORTY, T. C., LI, J., LI, D., HE, C., SARANGI, C., CHEN, F., YANG, X., LEUNG, L. R. Urbanization Impact on Regional Climate and Extreme Weather: Current Understanding, Uncertainties, and Future Research Directions. **Adv Atmos Sci**, v. 39, n. 6, p. 819-860, 2022. DOI: 10.1007/s00376-021-1371-9. Epub 25 Jan. 2022. PMID: 35095158; PMCID: PMC8786627.

ROMERO, Marta Adriana Bustos et al. **Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas.** Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo; ETB, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.18830/ISBN.978-85-67405-25-4>.

Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação do Distrito Federal (SEDUH-DF). **Quadro de Parâmetros.** Disponível em: <https://www.seduh.df.gov.br/quadro-de-parametros/>. Acesso em: Jan. 2023.

SENIS, L. V., MIRANDA, A. B., BORTOLANZA E SANTOS, D. G., BRAZ, A. M., PEREIRA, J. G. **Mapeamento e análise das áreas verdes urbanas como indicador da qualidade ambiental de Dourados, Mato Grosso do Sul.** In.: VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Anais: VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental (VI CONGEA). Porto Alegre, RS, 2015.

SHOJAEI, S. et al. Impacts on global temperature during the first part of 2020 due to the reduction in human activities by COVID-19. **Air, Soil and Water Research**, v.15, p.1-14, 2002. Disponível em: <https://doi:10.1177/11786221221101901>. Acesso em: 15/02/2023

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 93(12), 1879–1900, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1> Acesso em:

TRENTIN, R; DEPPE, F; LOHMANN, M; GRASSI, J. Análise comparativa da temperatura de superfície MODIS e temperatura do ar em diferentes situações no estado do Paraná. In: **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011**. Curitiba-PR. Anais [...]. INPE, v.15, 2011, p.7745-7752

TZAVALI, A. et al. Urban heat island intensity: a literature review. **Fresenius Environmental Bulletin**, 24(12b), 4537-4554, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/John-Paravantis/publication/298083233\\_Urban\\_heat\\_island\\_intensity\\_A\\_literature\\_review/links/586398b308ae8fce490b67f1/Urban-heat-island-intensity-A-literature-review.pdf](https://www.researchgate.net/profile/John-Paravantis/publication/298083233_Urban_heat_island_intensity_A_literature_review/links/586398b308ae8fce490b67f1/Urban-heat-island-intensity-A-literature-review.pdf) Acesso em: 23/03/2023

UN, United Nations. 10 – Urban – Rural Linkage (Habitat III Issue Papers). New York: UN, 2015. Disponível em: [http://habitat3.org/wp-content/uploads/Habitat-III-Issue-Paper-10\\_UrbanRural-Linkages-2.0.pdf](http://habitat3.org/wp-content/uploads/Habitat-III-Issue-Paper-10_UrbanRural-Linkages-2.0.pdf)

VOOGHT J. A., OKE T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Remote Sensing of Environment** Volume 86, Issue 3, 15 August 2003, Pages 370-384. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)

WERNECK, Daniela Rocha. **Variabilidade da temperatura de superfície diurna entre zonas climáticas locais (LCZ): um estudo para a área urbana do Distrito Federal**. [Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/45320>

ZANONI, V.; SÁNCHEZ, J. Caracterização de dados e arquivos climáticos de Brasília para simulação higrótérmica. In: SILVA, C. et al. (org). **Simulação, ambiente e energia no espaço construído**. Brasília: Universidade de Brasília, 2020. p. 55-98. [https://www.researchgate.net/publication/345858231\\_Caracterizacao\\_de\\_dados\\_e\\_arquivos\\_climaticos\\_de\\_Brasilia\\_para\\_simulacao\\_higrotermica](https://www.researchgate.net/publication/345858231_Caracterizacao_de_dados_e_arquivos_climaticos_de_Brasilia_para_simulacao_higrotermica)

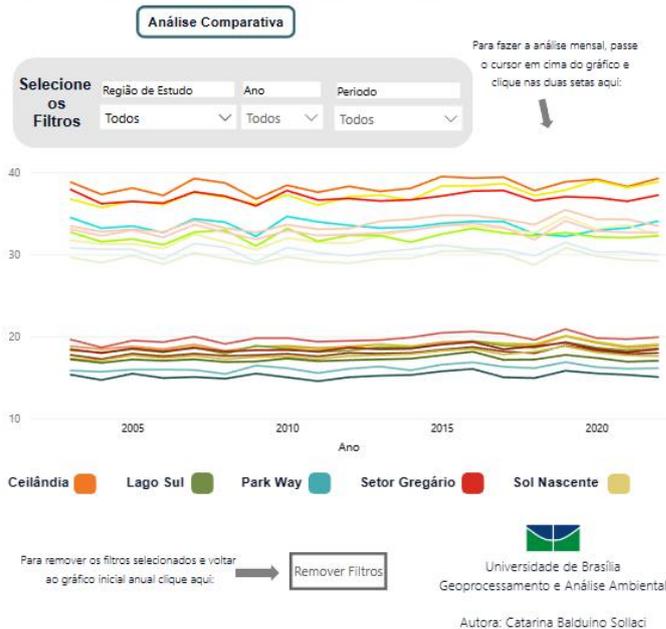
## 5. ANEXO

Os resultados desse trabalho foram organizados em *dashboard* dinâmico que pode ser acessado pelo link:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZjJkNTE3MmYtMzJlOS00NjY3LTg5ZTctNjFjM2JhZWRkZDY2liwidCI6IjIiMmE4MWlyLWlyMTEtNGY0NC1hYTA3LTc1MTA4NjI5OTIjNyJ9>

A informações podem ser filtradas por Região de Estudo, Ano e Período.

### DADOS DE TEMPERATURA



Temperatura:

	Manhã	Tarde	Noite	Madrugada
<b>Máxima</b> →	43,69	47,59	24,20	24,27
<b>Minima</b> →	22,97	13,53	8,55	9,73

