Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
ISSN 2237-8642

ESTABELECIMENTO DE UM ZONEAMENTO CLIMÁTICO PARA O MUNICÍPIO DE VILA VELHA COM BASE NAS LOCAL CLIMATE ZONES (LCZ): UM SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

Establishment of a climate zoning for the municipality of Vila Velha based on Local Climate Zones (LCZs): a subsidy for planning and land use management

Establecimiento de una zonificación climática para el municipio de Vila Velha basada en Zonas Climáticas Locales (LCZ): un subsidio para la planificación y la ordenación del territorio

Fabricio Holanda do Nascimento
Instituto Federal do Espírito Santo (IFES)
fabricio.climatologia2015@gmail.com

Rafael de Castro Catão
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
rafael.catao@ufes.br

André Oliveira Souza
Instituto Federal do Espírito Santo (IFES)
andre.souza@ifes.edu.br

Resumo: Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver um zoneamento climático local, com base em uma adaptação do método das Local Climate Zones (LCZ), desenvolvida pelos pesquisadores canadenses Stewart; Oke (2012), em Vila Velha, Espírito Santo, Brasil. Para tanto, foram necessárias leituras bibliográficas, aquisição de dados cartográficos, a fim de gerar alguns mapas temáticos da área de estudo, bem como aceder ao sistema *Web LCZ Generator*, onde foi desenvolvido o zoneamento da área de estudo. Por ser um município tipicamente tropical, com características geográficas e climáticas peculiares, foram necessários diversos ajustes para se proceder com o zoneamento, sobretudo se considerar as dimensões das edificações, que são diferentes das cidades estudadas inicialmente pelos autores originais. No entanto, os resultados foram satisfatórios, pois permitiram inferir uma série de considerações acerca da relação do uso e cobertura do solo de Vila Velha com o clima local, haja vista que foram feitos levantamentos de campo, a fim de mensurar dados de temperatura e umidade relativa do ar em dias quentes, com o objetivo de correlacionar os dados microclimáticos com as LCZ,

por exemplo, as LCZ densamente ocupadas, tenderam a apresentar temperatura do ar mais elevada e umidade do ar mais baixa (LCZ 1, LCZ 2 e LCZ 3), enquanto as LCZ menos urbanizadas apresentaram temperatura do ar mais baixa e alto teor de umidade do ar. Espera-se que este material auxilie os gestores na elaboração de políticas públicas mais assertivas, no que se refere ao planejamento e ordenamento do território e que leve em conta o clima local.
Palavras-chave: Clima urbano. Uso e cobertura do solo. Planejamento urbano. Climatologia geográfica.

Abstract: This research aimed to develop a local climate zoning, based on an adaptation of the Local Climate Zones (LCZ) method, developed by Canadian researchers Stewart; Oke (2012), in Vila Velha, Espírito Santo, Brazil. To this end, bibliographic readings and acquisition of cartographic data were necessary in order to generate some thematic maps of the study area, as well as access to the LCZ Generator Web system, where the zoning of the study area was developed. As it is a typically tropical municipality, with peculiar geographic and climatic characteristics, several adjustments were necessary to proceed with the zoning, especially considering the dimensions of the buildings, which are different from the cities initially studied by the original authors. However, the results were satisfactory, as they allowed us to infer a series of considerations about the relationship between land use and coverage in Vila Velha and the local climate, given that field surveys were carried out in order to measure temperature and relative humidity data on hot days, with the aim of correlating the microclimatic data with the LCZ, for example, densely occupied LCZs tended to have higher air temperatures and lower air humidity (LCZ 1, LCZ 2 and LCZ 3), while less urbanized LCZs had lower air temperatures and higher air humidity. It is expected that this material will help managers to develop more assertive public policies regarding land use planning and management that take into account the local climate.
Keywords: Urban climate. Land use and land cover. Urban planning. Geographic climatology.

Resumen: Esta investigación tuvo como objetivo desarrollar una zonificación climática local, basada en una adaptación del método de Zonas Climáticas Locales (LCZ), desarrollado por los investigadores canadienses Stewart; Oke (2012), en Vila Velha, Espírito Santo, Brasil. Para ello fueron necesarias lecturas bibliográficas y adquisición de datos cartográficos para generar algunos mapas temáticos del área de estudio, así como el acceso al sistema Web LCZ Generator, donde se desarrolló la zonificación del área de estudio. Al tratarse de un municipio típicamente tropical, con características geográficas y climáticas peculiares, fueron necesarios varios ajustes para proceder con la zonificación, especialmente considerando las dimensiones de las edificaciones, que difieren de las ciudades inicialmente estudiadas por los autores originales. Sin embargo, los resultados fueron satisfactorios, ya que permitieron inferir una serie de consideraciones sobre la relación entre el uso y cobertura del suelo en Vila Velha y el clima local, dado que se realizaron estudios de campo para medir datos de temperatura y humedad. Temperatura relativa del aire en días calurosos, con el objetivo de correlacionar los datos microclimáticos con la LCZ, por ejemplo, las LCZ densamente ocupadas tendían a tener temperaturas del aire más altas y una humedad del aire más baja (LCZ 1, LCZ 2 y LCZ 3), mientras que las LCZ menos urbanizadas tendían a tener temperaturas del aire más bajas y niveles de humedad del aire más altos. Se espera que este material ayude a los gestores en el desarrollo de políticas públi cas más asertivas, en materia de planificación y ordenación del territorio y que tengan en cuenta el clima local.
Palabras clave: Clima urbano. Uso y cobertura del suelo. Planificación urbana. Climatología geográfica.

Submetido em: 12/11/2024

Aceito para publicação em: 21/03/2025

Publicado em: 27/04/2025

1. INTRODUÇÃO

Os fenômenos da natureza são objeto de estudo do ser humano desde os tempos mais antigos, em especial aqueles originados da atmosfera e que repercutem na paisagem, sendo fundamental para o desenvolvimento das diferentes sociedades (SANT'ANNA NETO, 2004). Desde a chamada idade antiga, o ser humano busca a compreensão do clima, pois este, de maneira especial, influenciava e ainda influencia as diversas atividades humanas, sejam elas em áreas rurais e/ou áreas urbanas. De acordo com Sant'Anna Neto (2004), deve-se aos gregos as primeiras observações meteorológicas e a ruptura com as posturas teológicas da época, que atribuía aos deuses o controle do tempo. Ayoade (2013) afirma que o clima influencia a sociedade e essa influencia o clima de diversas formas, sobretudo por meio de suas atividades para a sobrevivência na Terra.

Os estudos do tempo e do clima ocupam uma posição privilegiada no amplo campo de estudos das ciências naturais. Isso porque as condições do clima constituem-se como importantes fatores a serem considerados na definição de diversos sistemas ambientais e sociais, haja vista que os elementos do clima fornecem calor, umidade e, principalmente, energia para que ocorra o desenvolvimento das plantas, do solo, da estrutura do relevo, da agricultura e da urbanização (AYOADE, 2013; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; SORRE, 2006).

Neste contexto, diversos são os problemas advindos do processo de urbanização, tanto do ponto de vista ambiental como do ponto de vista social. No entanto, aqueles observados no clima podem ser considerados os mais graves, haja vista as consequências para o ambiente e à sociedade (NETO, 2019; LANDSBERG, 1981; MILLS, 2014).

Ao longo da história da Climatologia, uma série de metodologias e técnicas foram desenvolvidas e utilizadas na tentativa de perceber os elementos do clima. Do ponto de vista da Geografia, em especial da escala urbana, o clima também é objeto de pesquisa, e diversas metodologias foram utilizadas na tentativa de compreender a relação do clima com as áreas urbanas. Na década de 1970, Oke (1978) desenvolveu uma metodologia, aperfeiçoada por Stewart; Oke (2012), capaz de identificar zonas padrão no contexto urbano e rural, em função do tipo de uso e cobertura do solo e as caraterísticas térmicas e higrométricas, denominada Local Climate Zone (LCZ), cuja a tradução é Zonas Climáticas Locais (ZCL), metodologia esta

escolhida neste trabalho, pois entende-se que essa proposta nos ajuda a perceber, na escala da área de estudo, a relação dos diferentes padrões de uso e cobertura do solo com o clima local, como a obstrução do céu, provocada pela dimensão das edificações, tais como altura e distância entre os prédios.

Assim, o objetivo geral deste estudo consistiu em desenvolver uma adaptação metodológica, com base na proposta das Zonas Climáticas Locais (LCZ) de Stewart; Oke (2012); Demuzere et al. (2021) em Vila Velha, Espírito Santo, Brasil, com vistas a estabelecer uma metodologia que possa dar subsídio aos gestores na definição do planejamento e ordenamento territoriais.

2. METODOLOGIA

O objetivo central desta pesquisa foi realizar um zoneamento climático no município de Vila Velha, Espírito Santo, por meio da proposta das Zonas Climáticas Locais (LCZ), desenvolvida pelos pesquisadores canadenses Stewart; Oke (2012). É objetivo também deste trabalho elaborar um material científico que possa subsidiar o planejamento e ordenamento municipais, na medida em que contribui com a identificação de áreas críticas em relação ao calor, em termos de conforto térmico, do planejamento e manutenção de áreas verdes e corpos d'água, dimensão das edificações, espaçamento entre elas, largura das redes viárias, características dos materiais construtivos, dentre outros aspectos importantes da urbanização.

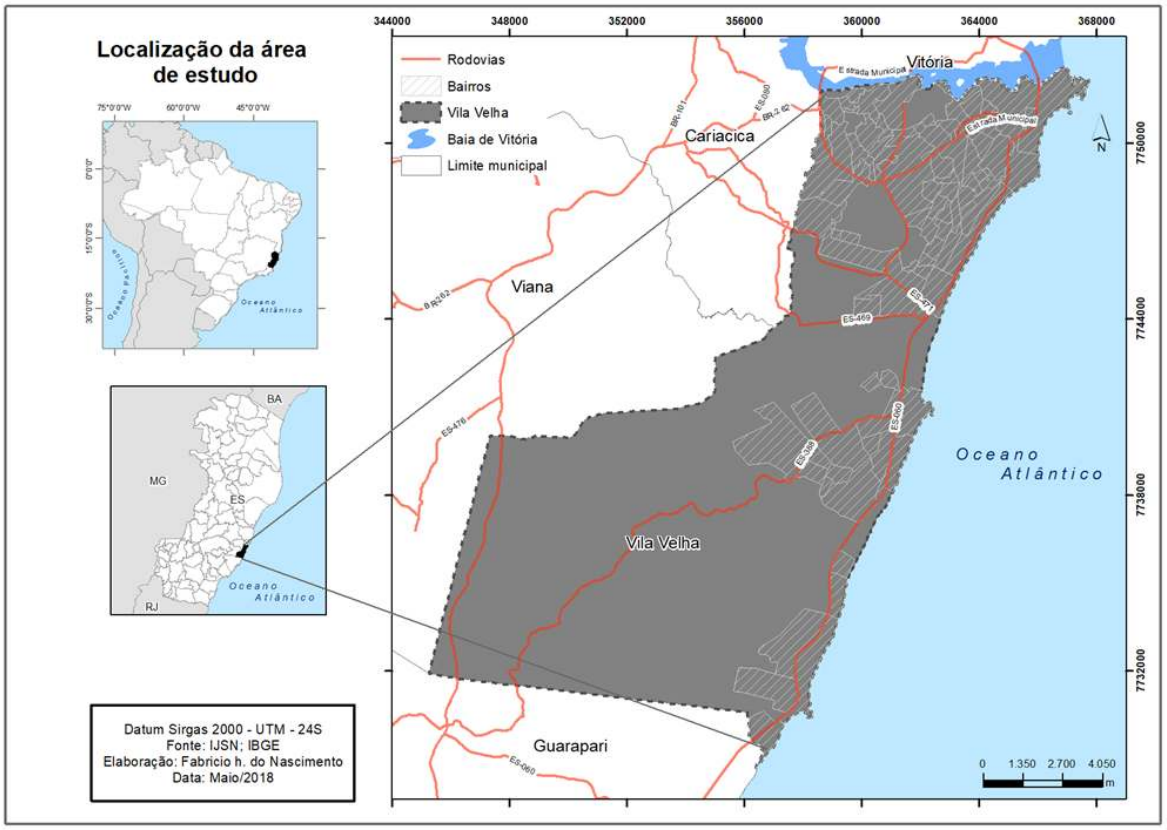
A área de estudo refere-se ao município de Vila Velha, localizada na porção leste do Estado do Espírito Santo, Brasil, zona costeira do Estado, entre as latitudes 20°19' e 20°32' Sul e longitudes 40°16' e 40°28' Oeste (Tabela 1 e Figura 1). A escala de análise do clima desta pesquisa é a escala local, configurando a escala que as ações humanas exercem maior influência sobre os elementos da atmosfera (AYOADE, 2013; SORRE, 2006).

Tabela 1 – Estatística descritiva da área de estudo

Área Geográfica	Área (km²)	(%)
Vila Velha	210,14	---
Setor censitário	210,14	---
Área efetivamente urbana	124,83	59,41
Área rural	85,31	40,59
Parques e reservas	32,27	15,35

Fonte: Organizado pelo autor/2024.

Figura 1 – Localização da área de estudo



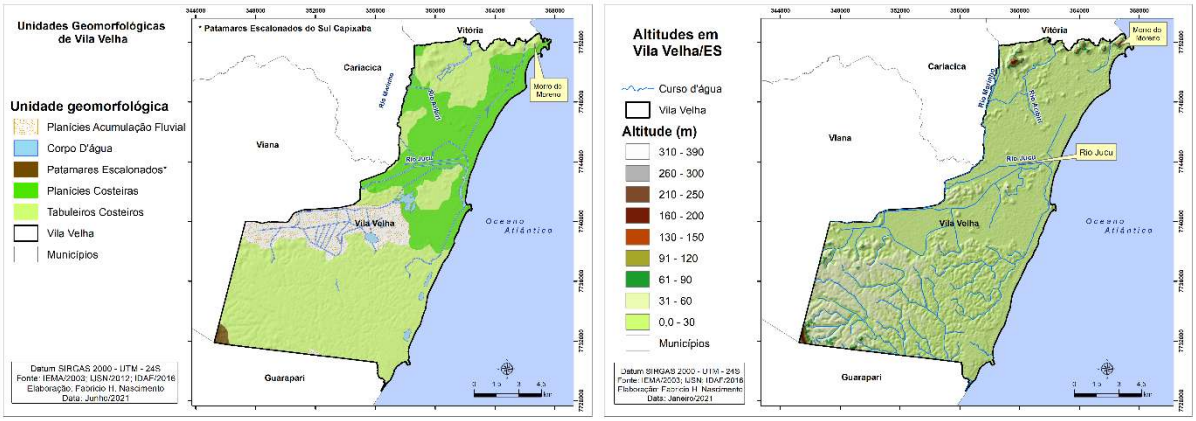
Fonte: organizado pelo autor/2024.

Do ponto de vista climatológico, tanto o regime de pluviosidade, como o de temperatura, de vento e de umidade da Região Sudeste do Brasil, e consequentemente da área de estudo são influenciados significativamente pela circulação geral da atmosfera, bem como pela latitude (média latitude); fator esse que influencia as altas temperaturas registradas nessas regiões, pois essas zonas do Planeta recebem radiação solar direta. Assim, a área de estudo recebe influência de, basicamente, todos os sistemas atmosféricos que influênciam as condições de tempo da região Sudeste do Brasil.

Segundo Silva (2013), os ventos predominantes do município são do quadrante nordeste (NE) durante todo o ano, praticamente sendo que, nos meses de abril a setembro, em função da atuação das massas de ar, há ocorrência de ventos dos quadrantes sudeste (SE) e sul (S).

Quanto as temperaturas do ar e a precipitação, os meses de dezembro a março são considerados os mais quentes, com média mensal de 28 ºC ou mais, enquanto os meses de junho a agosto são os meses mais frios, abaixo dos 23 ºC. Quanto ao regime de precipitação, a área de estudo é caracterizada por, fundamentalmente, dois períodos bem distintos, um chuvoso e um seco, seguindo o comportamento da Região Sudeste – entre novembro e janeiro e entre junho e setembro, respectivamente. No período chuvoso, por exemplo, em função da influência da Zona de Convergência do Atlantico Sul (ZCAS), as chuvas podem ultrapassar os 200 mm mensais.

Figura 2 – Altitude e unidades geomorfológicas em Vila Velha, ES



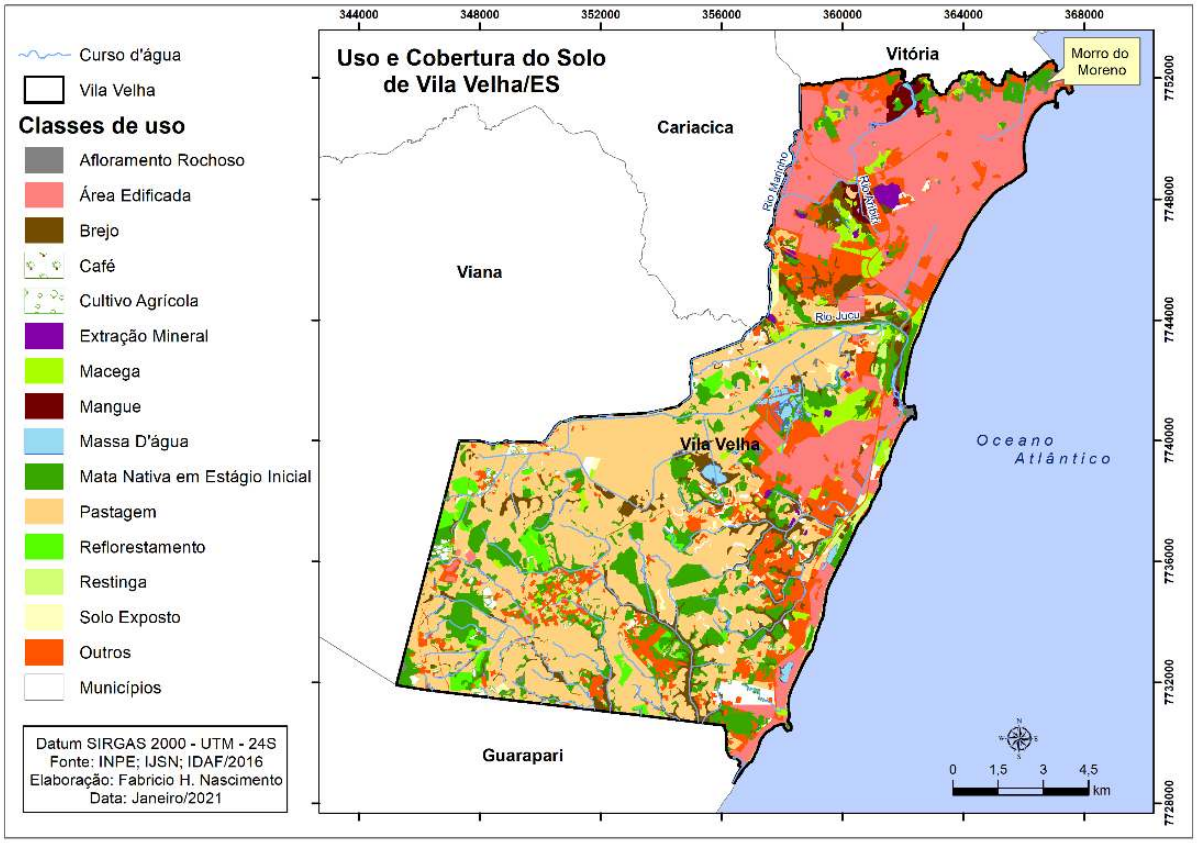
Fonte: Organizado pelo autor/2024.

O relevo é relativamente plano, com cotas altimétricas que não ultrapassam os 400 metros, com destaque para o Morro do Moreno, localizado na porção nordeste do município, com 380 metros de altitude. Quanto à geomorfologia, Vila Velha é caracterizada por planícies, e tabuleiros costeiros, nomeadamente, conforme o mapeamento geomorfológico do Instituto Jones dos Santos Nevez (IJSN, 2012) (Figura 2).

A Figura 3 e a Tabela 2 referem-se ao mapa de uso e cobertura do solo e a uma estatística descritiva simples das respectivas classes de uso. As classes de uso e cobertura do solo foram mapeadas pelo Instituto de Defesa Agropecuária do Estado do Espírito Santo (IDAF)

em 2016. Conforme pode ser observado na Figura 3 e Tabela 2, 35% do território de Vila Velha é caracterizado por pastagens e cerca de 20% correspondem a área efetivamente urbanizada contra apenas 8% de área de vegetação nativa. A classe outros, representando 13% do município, refere-se às categorias que não foram identificadas durante o mapeamento da base cartográfica.

Figura 3 – Uso e cobertura do solo em Vila Velha, ES



Fonte: Organizado pelo autor/2024.

Tabela 2 – Estatística descritiva do uso e cobertura do solo em Vila Velha, ES

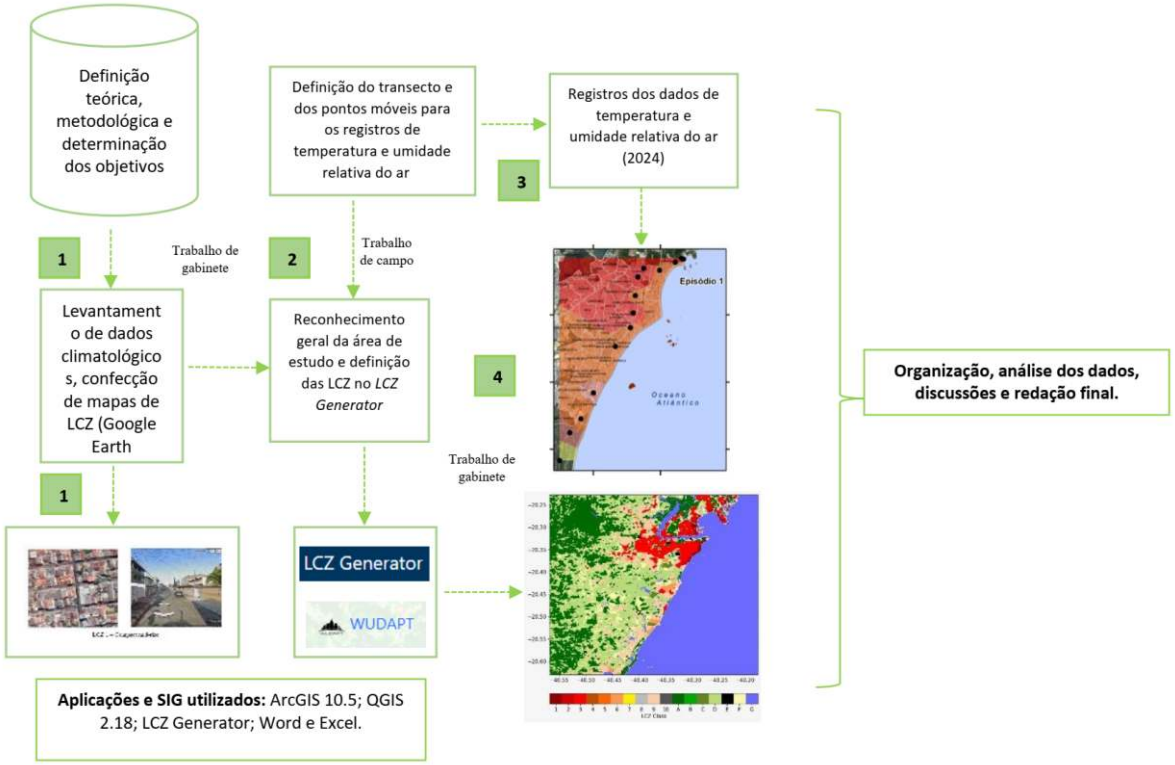
Classe	Área (km²)	Área (%)
Afloramento Rochoso	1,04	0,50
Área Edificada	41,67	19,93
Brejo	13,06	6,25
Café	0,15	0,07
Cultivo Agrícola	1,97	0,94
Extração Mineral	1,14	0,55
Macega	6,91	3,31
Mangue	1,59	0,76
Massa D'água	3,62	1,73
Mata Nativa	16,78	8,03
Mata Nativa em estágio de regeneração	11,78	5,63
Outros	28,26	13,52
Pastagem	75,08	35,92
Reflorestamento - Eucalipto	1,51	0,72
Reflorestamento - Seringueira	2,05	0,98
Restinga	1,36	0,65
Solo Exposto	1,09	0,52
Total	209,03	100

Fonte: IDAF (2016); Organizado pelo autor/2024.

2.1. Procedimentos Metodológicos

Esta pesquisa tem como área de estudo uma cidade típica tropical brasileira, e seu objeto é centrado na relação sociedade/natureza. Assim, para que os objetivos sejam alcançados, foram desenvolvidas as seguintes etapas, que estão detalhadas a seguir e ilustradas no fluxograma da Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma das etapas do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor/2024.

1 – Aquisição e leitura do referencial teórico-metodológico acerca dos conceitos abordados na pesquisa, como Climatologia Geográfica, Geografia do Clima, Análise Rítmica do Clima, Clima Urbano, Zonas Climáticas Locais, Escalas do Clima e a relação entre o Clima e o Planejamento urbano.

2 – Confecção do banco de dados geográfico (arquivos raster e vetorial) e mapeamento cartográfico, como parte da caracterização do suporte biofísico da área de estudo. Os mapas gerados foram: hipsometria e geomorfológico, com base na imagem de radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução de 30 metros e a classificação das unidades geomorfológicas desenvolvida pelo Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN), respectivamente; uso e cobertura do solo, por meio do mapeamento do Instituo de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF, 2016).

3 – As LCZ foram definidas com base na metodologia de Stewart; Oke (2012), e foram estabelecidas, num primeiro momento, a partir das imagens de satélites do *Google Earth* e confirmadas em campo. De acordo com Stewart; Oke (2012) e Oke (2017), a classificação de tipos de superfícies em LCZ estabelece uma metodologia capaz de organizar, dentro de um

sistema de classes padrão, as diferentes condições físicas dos elementos do espaço urbano. Para além disso, elas também permitem agrupar as características de edificações, vegetação urbana, que possuem potencialidade em promover alterações climáticas no interior da cidade, formando regiões uniformes, em termos de cobertura do solo, estrutura, materialidade e atividade humana, que podem abranger dimensões de centenas de metros a alguns quilômetros em escala horizontal.

Num segundo momento, com o propósito de perceber a distribuição das LCZ no território de Vila Velha, foi desenvolvido o mapeamento dessas através da aplicação *Web LCZ Generator*, de acordo com a metodologia de Demuzere; Bechtel (2021), explicada de forma pormenorizada mais adiante.

2.2. Mapeamento das Zonas Climáticas Locais (LCZ)

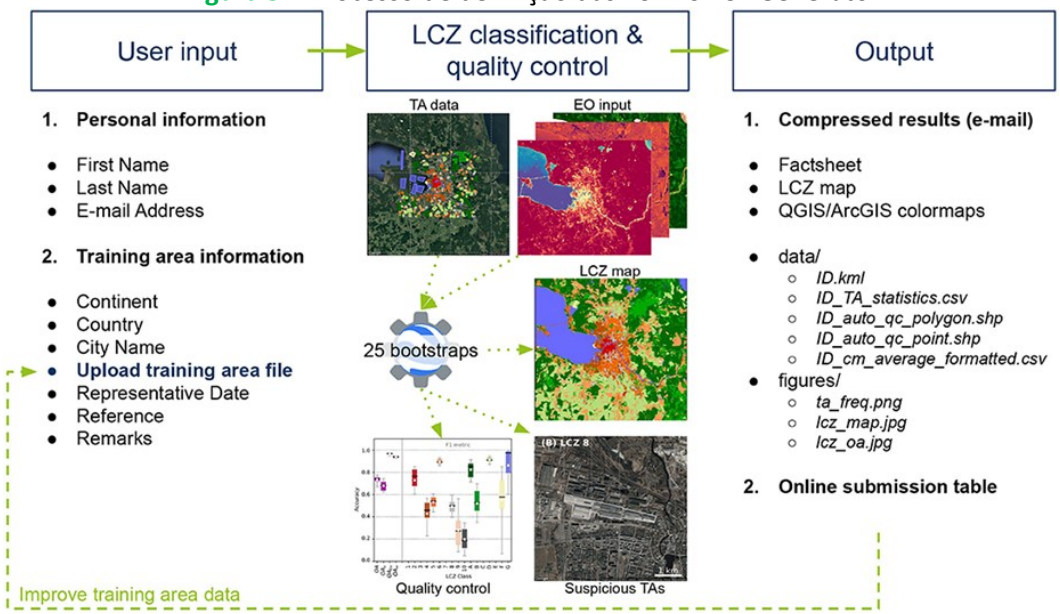
O mapeamento das LCZ consiste em uma classificação semiautomática dentro de uma aplicação *Web* denominada *LCZ Generator*. Para a realização do procedimento de definição das LCZ com base na metodologia de Stewart; Oke (2012) e Demuzere *et al*. (2021), inicialmente foi necessário acessar o *World Urban Database and Access Portal Tools* (WUDAPT), onde está disponível o *LCZ Generator*, que permite desenvolver o mapeamento de cidades através das LCZ. Após acessar o site, foi feito o *download* de uma base de treinamento do *Google Earth* e digitalizados os polígonos sobre a localidade escolhida. A partir disso foi feita a seleção dos polígonos relacionados a cada LCZ presente no local.

No site do WUDAPT, é possível observar as diretrizes para digitalizar áreas corretas de treinamento. O método de classificação do WUDAPT é baseado em imagens de satélite e refere-se a um tipo de classificação supervisionada, que considera os pixels das imagens dentro do *LCZ Generator* (Figura 5). Nesta pesquisa, optou-se em trabalhar com um número entre pelo 10 – 15 polígonos de cada LCZ identificada, com área de, no mínimo, 1km².

Para finalizar o processo, as informações pessoais e de treinamento são enviadas pela *Web* e a partir disso é gerado um mapa de LCZ com estatísticas de metadados e rótulos para polígonos suspeitos, a fim de controlar a qualidade do produto obtido. Por último, os resultados são enviados ao e-mail do autor e submetidos de forma online. A fim de melhorar a qualidade cartográfica do mapa de LCZ foi utilizado o *software* de SIG ArcGIs 10.5.1 onde foi

dado o acabamento ao mapa e seus elementos, como, a legenda, escala cartográfica, título, informações etc.

Figura 5 – Processo de definição das LCZ no LCZ Generator



Fonte: WUDAPT (2022).

De acordo com Demuzere *et al*. (2021) ao acessar o *LCZ Generator* o usuário deve inserir dois atributos importantes ao mapeamento das LCZ: as informações pessoais e as informações acerca da área de treinamento (TA). Considerando que essa metodologia permite uma interpretação acurada do espaço geográfico, nomeadamente do espaço urbano e as implicações sobre o clima intraurbano, as LCZ tornam-se muito adequadas para se investigar a relação entre o clima e as atividades humanas nessas áreas, e é de grande valia aos gestores do município de Vila Velha.

A Figura 6 apresenta um trecho da área de treinamento referente a Vila Velha usada para mapear as etiquetas que foram introduzidas no *LCZ Generator*.

Figura 6 – Trecho da área de estudo usada para o treinamento do LCZ Generator



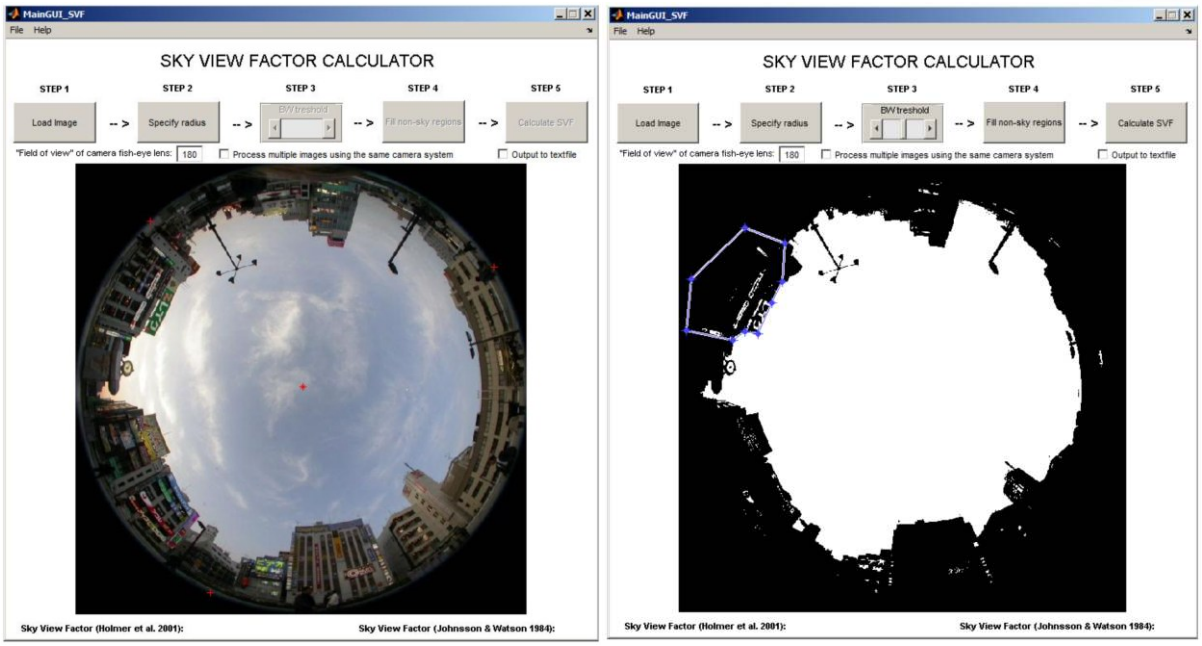
Fonte: Google Earth (2023); Demuzere *et al.* (2021).

2.3. Definição do Ski View Factor

O *Ski View Factor* (SVF) (fator de visão do céu, numa tradução livre) tem sido amplamente utilizado por vários pesquisadores ao redor do mundo a fim de obterem informações acerca da morfologia das áreas urbanas, especificamente para medir a geometria dos cânions urbanos que podem obscurecer o céu e, consequentemente, obstruir a radiação solar que chega à superfície da terra, bem como diminuir a circulação de ventos na cidade, e, assim, é possível verificar o aquecimento e/ou resfriamento dos cânions urbanos (MIDDEL et al., 2018; STEWART; OKE, 2012).

Nesta pesquisa, para determinar o SVF, foi utilizado, de modo gratuito, o *software* de cálculo de SVF denominado *Sky View Factor Calculator*, MatLab, desenvolvido pelo Göteborg Urban Climate Group, Department of Earth Sciences, ligado à Universidade de Gotemburgo, Suécia. O software em questão tem como base de entrada a imagem olho de peixe da abóboda do céu (Figura 7).

Figura 7 – Exemplo do SVF e o perfil a partir do Sky View Factor Calculator

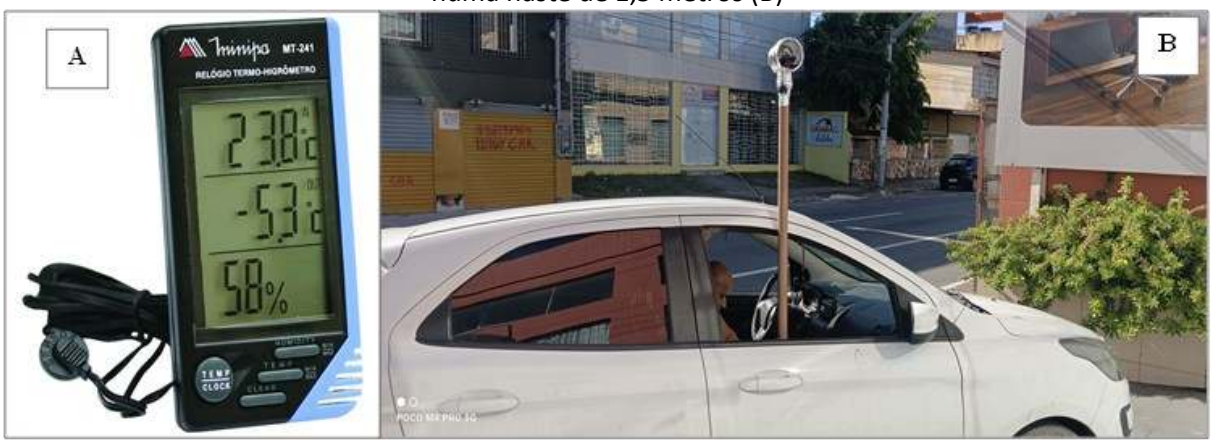


Fonte: Lindberg; Holmer (2012).

2.4. Mensuração da temperatura do ar e umidade relativa do ar

Para mensurar os dados climatológicos, optou-se em trabalhar com a metodologia dos transectos móveis, conforme Cardoso; Amorim (2017) e Neto (2019). Neste contexto, foram mensurados dados de temperatura e umidade relativa do ar em diferentes pontos representativos das LCZ identificadas em Vila Velha. O instrumento utilizado para a medição foi o termo-higrômetro de modelo Minipa MT-41, acoplado em um cano de PVC envolto de papel alumínio e fixado em haste de cano de 40 mm (Figura 8).

Figura 8 – Termo-higrômetro utilizado em campo (A) e o cano PVC envolto de papel alumínio fixado numa haste de 1,5 metros (B)



Fonte: Foto do autor/2024.

De acordo com o livro do usuário, esse instrumento de medição mede a umidade relativa do ar e a temperatura do ar (temperatura instantânea, temperatura mínima e temperatura máxima), tanto a interna como a externa. A temperatura interna (T1) é medida na faixa de 0 ºC a 50 ºC, enquanto a temperatura externa é medida da faixa de 0 ºC a 70 ºC. A umidade relativa está na faixa de 20 a 90%. A resolução do equipamento, considerando as temperaturas T1 e T2, é de 0,1 ºC, considerada uma resolução muito boa para trabalhos em clima urbano.

Assim, o trabalho de campo foi compartimentado em três etapas, a saber: o planejamento, a execução, o tratamento e a análise dos dados. Nesse contexto, a etapa de planejamento foi dedicada à definição prévia do trajeto a ser percorrido com base nas imagens de alta resolução do *Google Earth*, que considera diferentes tipos de paisagens representativas das LCZ e os diferentes tipos de uso e cobertura do solo, com sentido norte/sul. As medições ocorreram por meio de transectos móveis diurnos às 15:00h e às 6:00h ou 06:30h da manhã, em cinco episódios de dias quentes.

O ponto inicial do trajeto é o bairro Praia da Costa, a nordeste do município, finalizando-se na altura do bairro Barra do Jucu, porção centro norte do município. O transecto tem aproximadamente 15 km de extensão e foi percorrido em uma hora. Foram feitas leituras de temperatura do ar e umidade relativa do ar em 14 pontos representativos das LCZ encontradas em Vila Velha, desde zonas mais densamente ocupadas (Praia da Costa) às zonas mais rurais (Barra do Jucu), conforme sugerem Stewart; Oke (2012).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Distribuição espacial das LCZs em Vila Velha

A Figura 9 apresenta um ficheiro exemplo do produto gerado dentro do site do LCZ Generator com as informações relativas à área de estudo (ex.: continente, país, estado e a cidade) e informações pessoais. Conforme pode ser observado, há quatro parâmetros que fornecem informações acerca da confiabilidade do zoneamento, que são: a acurácia geral (OA), a acurácia geral para classes urbanas (OAu), a acurácia geral para as classes urbanas versus naturais (OAbu) e acurácia ponderada (OAw) (WERNECK, 2022; DEMUZERE, KITTNER e BECHTEL, 2021).

Para a área de estudo, o teste de acurácia geral é 54%, considerável aceitável, se levar em consideração a dimensão da área de estudo e a escala espacial. No entanto, a acurácia geral para classes urbanas apresenta um resultado um pouco melhor, 64%, e as acurácias geral para classes urbanas e para classes urbanas versus naturais apresentaram um percentual bem mais elevado, acima de 87% e 90%, respectivamente.

A Figura 10 apresenta um mapa gerado no LCZ Generator e finalizado no SIG ArcGIS 10.5.1, que demonstra a distribuição espacial das LCZs em Vila Velha. Para esse município, foram mapeadas 13 LCZs das 17 identificadas por Stewart; Oke (2012), dentre áreas naturais (A, C, D, E, F e G) e artificiais (1, 2, 3, 6, 8, 9 e 10), com base nos polígonos testes inseridos no LCZ Generator. Foram realizadas, pelo menos, 10 tentativas de classificação automática, das quais foram alterados e/ou acrescentados mais polígonos, a fim de gerar um melhor mapeamento possível da área de estudo, haja vista que a escala de análise não é de grande detalhe, pois refere-se a todo o perímetro do município, entre áreas urbanas e rurais. Após as tentativas desenvolvidas dentro do LCZ Generator, o mapeamento final é baseado no melhor resultado de acurácia das LCZs (WERNECK, 2022; DEMUZERE, KITTNER e BECHTEL, 2021).

Figura 9 – Ficheiro exemplo para Vila Velha, ES, Brasil



Fonte: LCZ Generator (2024); Organizado pelo autor/2024.

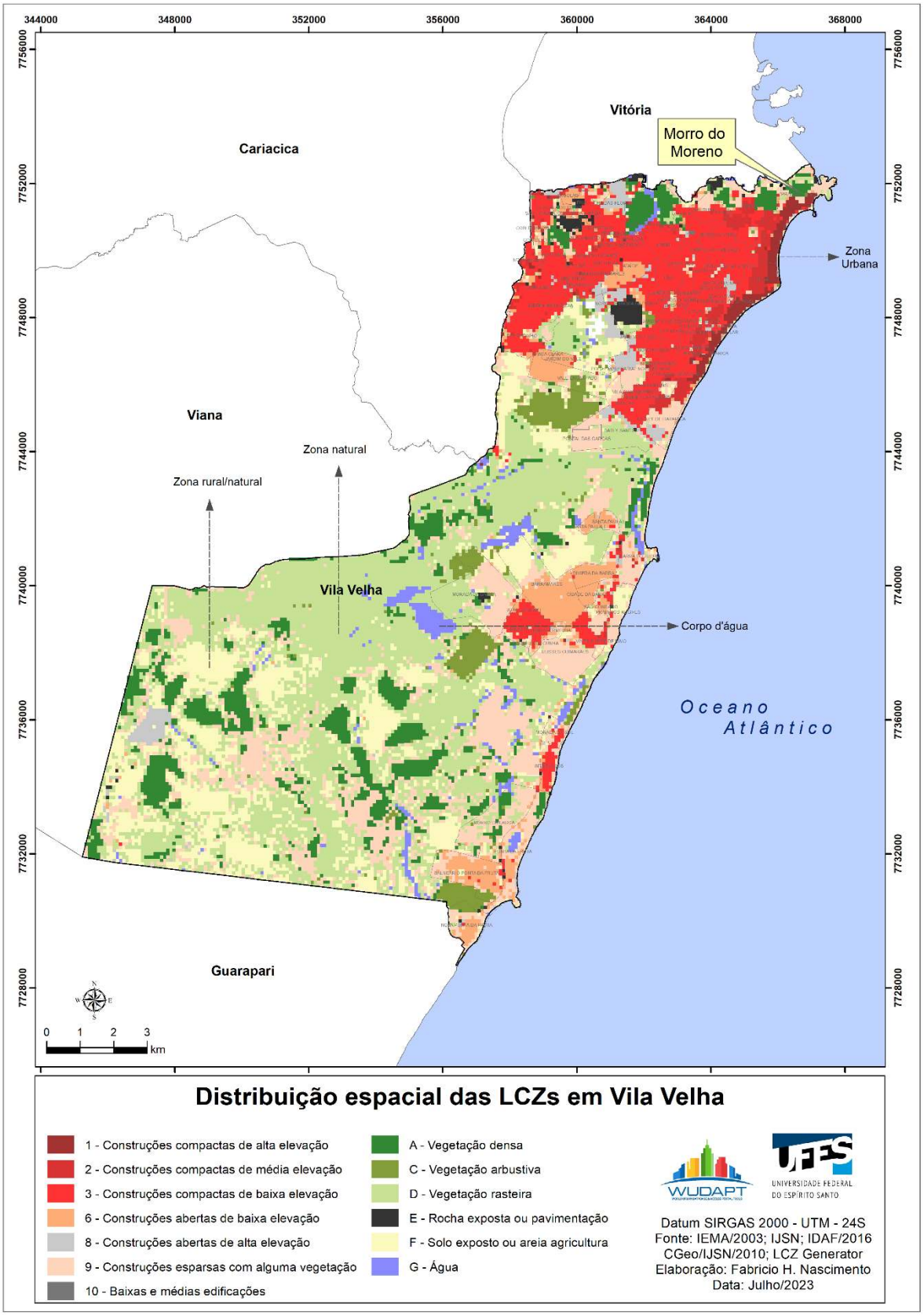
De acordo com o mapa de LCZ, as classes de pior desempenho referem-se as classes 4, 5, 7 e A. Esse desempenho “inferior” pode ser explicado devido a quantidade de áreas treinamento criadas para essas classes, que é reduzida em relação as demais. No entanto, isso

não significa que ela não exista, mas, de acordo com Verdonck et al, (2019), uma classe de LCZ pouco visível na área de treinamento pode não ser percebida por um classificador automático. Situação semelhante ocorreu com Werneck (2022) para o Distrito Federal, Brasília, Brasil, onde a autora percebeu que a classe LCZ 1, de edificações compactas e acima de 10 pavimentos, quase não foi observada no mapa de LCZ, embora ela exista na realidade.

As porções nordeste e noroeste apresentaram zonas, predominantemente artificializadas, entre 1 e 3, nomeadamente os bairros Praia da Costa, Itapuã e Itaparica zonas de densas edificações e compactas e médias a altas elevações, com estruturas que podem ultrapassar 10 pavimentos, como é o caso dos bairros Praia da Costa, Itapuã e Praia de Itaparica, cujas estruturas podem ultrapassar os 15 pavimentos, conforme pode ser observado no mapa.

De acordo com Stewart; Oke (2012), as LCZ de 1 – 10 referem-se aos tipos de usos que caracterizam a paisagem, enquanto as LZC A – G referem-se as diferentes coberturas que podem ser visualizadas na paisagem. Assim, as LCZ de 1 – 3, como pode ser observado na Figura 62, somam-se a maioria das LCZ da porção norte de Vila Velha, a mais urbanizada do município. Estas zonas podem ser caracterizadas por possuírem alta densidade populacional, intenso fluxo de veículo ao longo do dia e com funções, predominantemente, comercial e residencial, nomeadamente os bairros Glória e Centro de Vila Velha (comercial/residencial), Praia da Costa, Praia de Itapuã e Itaparica (função residencial).

Figura 10 – Distribuição geográfica das LCZs na área de estudo

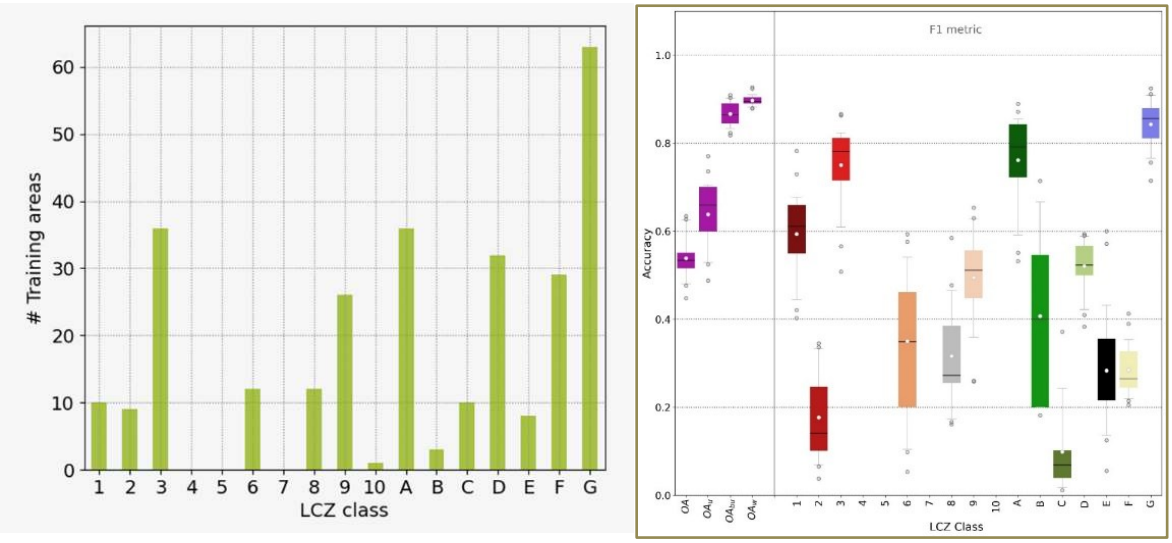


Fonte: Organizado pelo autor/2024.

3.2. Frequência de distribuição e acurácia das áreas de treinamento em Vila Velha

A Figura 11 apresenta a distribuição das frequências (à esquerda) e a acurácia (à direita) de cada área de treinamento identificada no *LCZ Generator* para o município de Vila Velha.

Figura 11 – Frequência de distribuição e acurácia das áreas de treinamento identificadas em Vila Velha, ES



Fonte: LCZ Generator; organizado pelo autor/2024.

Como pode ser observado, as LCZ com maior frequência de ocorrência foram as LCZ 3, LCZ A e LCZ G, referentes a edificações compactas de até 3 pavimentos, áreas de vegetação densa e corpos d'água, respectivamente. Era de se supor, pois a área urbanizada do município é caracterizada, em sua maioria, por construções de baixa a média elevação, e com funções comercial e residencial, a exemplo de bairros como Glória e Centro de Vila Velha.

Vale destacar, novamente, que as LCZ 4, 5, 10 e B foram identificadas, porém, com um número bem reduzido, razão pela qual não aparecem no gráfico de distribuição ou encontram-se bem reduzidas, mas aparecem no mapa de distribuição da Figura 10.

O resultado da acurácia do mapeamento das LCZ dentro do LCZ Generator. Como pode ser observado, as LCZ 2, 6 e C tiveram o pior desempenho e as LCZ 4, A e G, apresentaram o melhor desempenho. No primeiro caso, o fator explicativo está associado à quantidade de áreas de treinamento, que foram reduzidas, pois em Vila Velha, apenas a faixa costeira da

cidade apresenta estruturas acima de 9 pavimentos, que são os bairros Praia da Costa, Praia de Itapoã e Itaparica, que faz com que a acurácia das classes seja menor, porém não as invalida (WERNECK, 2022; DEMUZERE; KITTNER; BECHTEL, 2021).

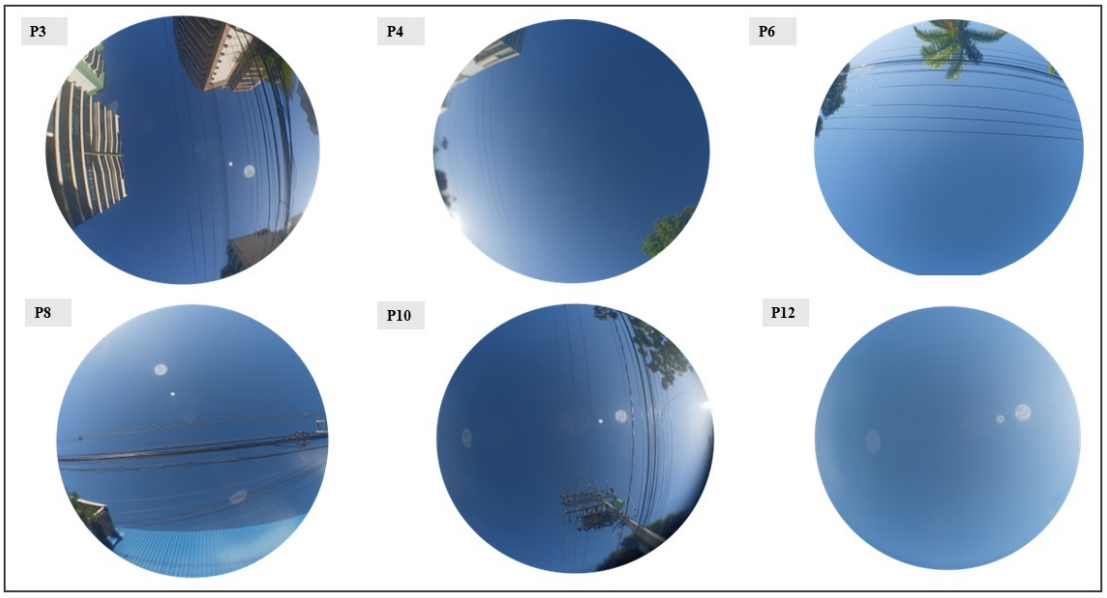
Resultado semelhante foi encontrado por Wang et al. (2018), para Hong Kong, onde os pesquisadores avaliaram a acurácia da classificação, que foi baixa, ao menos para a LCZ 1, e associaram o baixo desempenho ao fato de as informações acerca da altura dos edifícios serem precárias. No Brasil, Werneck (2022) também encontrou resultados semelhantes para Brasília, onde a LCZ 1 apresentou o pior desempenho, associado ao baixo número de áreas de treinamento.

3.3. O Sky Wiew Factor em Vila Velha, ES

O Sky Wiew Factor (SVF) é uma medida importante para se avaliar a obstrução do céu. Através da aplicação do SVF, é possível perceber a influência das estruturas, sejam urbanas ou naturais, no clima local, seja na modificação do fluxo dos ventos, transporte de calor e radiação (STEWART; OKE, 2012). Para este estudo, foram utilizadas uma câmera de telefone móvel e uma lente “olho de peixe” para telefones móveis, conforme já mencionado no capítulo de materiais e métodos.

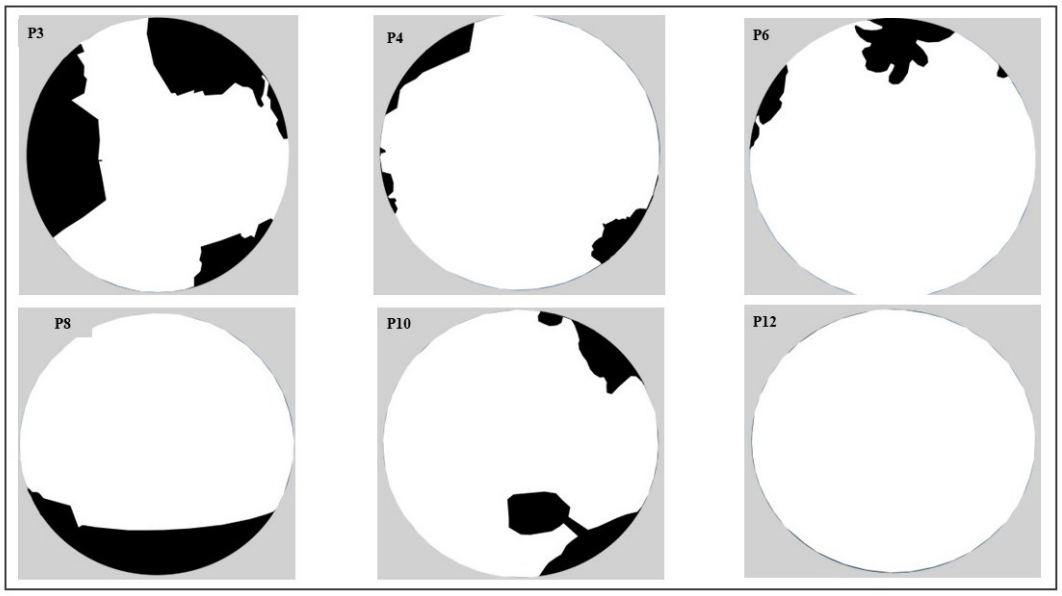
Para a avaliação da obstrução do céu, foram registradas imagens de alguns sítios apenas, haja vista que, alguns pontos possuem características urbanas semelhantes, não fazendo jus ao registro de imagens de todos eles. Assim, foram registradas fotografias de, pelo menos seis pontos que foram escolhidos para a medição dos dados microclimáticos (visto adiante), o ponto 3, representativo dos pontos 1, 2 e 3, o ponto 4, representativo dos pontos 4 e 5, do ponto 6, do ponto 8, representativo dos pontos 7, 8 e 9, do ponto 10, representativo dos pontos 10 e 11, e do ponto 12, representativo dos pontos de 12 a 14 (Figura 12). Quando se analisa as imagens após o processamento dentro do *software* de cálculo do SVF, é possível perceber que o nível de obstrução do céu de cada ponto, que varia de 0 – 1, sendo que, quanto mais próximo de 1, menos obstruído é a abóboda do ponto em análise (Figura 13).

Figura 12 – Imagens registradas com a lente "olho de peixe" dos pontos representativos das LCZ



Fonte: Organizado pelo autor/2024.

Figura 13 – Gráfico de obstrução do céu dos pontos de coleta



Fonte: Organizado pelo autor/2024.

3.3. Os pontos móveis e o clima local em Vila Velha, ES

A Geografia do Clima, a Climatologia Geográfica e o Clima Urbano, independente do conceito a ser adotado, têm se beneficiado muito em função da utilização de diversos métodos de medição in loco de dados da atmosfera, principalmente da temperatura do ar e da umidade relativa do ar. Dentre os métodos de medição de elementos da atmosfera, podem

ser citadas as aferições por pontos fixos e pontos móveis, que consiste em monitorizar os elementos da atmosfera, especificamente temperatura e umidade relativa do ar, por meio de aparelhos de medição, a exemplo do Data Logger (pontos fixos) e termo higrômetro (pontos móveis). Nesta pesquisa, conforme já mencionado no capítulo referente à metodologia, adotou-se a técnica dos transectos móveis, amplamente utilizada em trabalhos de clima urbano, tanto em escala nacional como internacional, a exemplo de Cardoso; Amorim (2017); Neto (2019); García (1995), dentre outros.

Nesse sentido, a Tabela 3 apresenta os pontos do transecto e os pares de coordenadas UTM de cada um, bem como uma descrição associada à LCZ correspondente. Por conta de limitação estrutural e financeira, foi utilizado apenas um carro, com duas pessoas, um motorista e um auxiliar, o que justifica fazer apenas um transecto.

Tabela 3 – Coordenadas UTM e descrição das LCZ de cada ponto de monitoramento

Pontos	X	Y	Descrição (LCZ)
P1	367026.23	7751488.53	LCZ 1
P2	366936.84	7751539.74	LCZ1
P3	366661.73	7751346.98	LCZ1
P4	365968.86	7750991.96	LCZ 2
P5	365244.38	7751080.73	LCZ 2
P6	364998.43	7750697.69	LCZ 3
P7	364879.65	7749857.51	LCZ 3
P8	364781.49	7749084.04	LCZ 3
P9	364649.18	7748427.20	LCZ 2
P10	363993.19	7747592.55	LCZ 2
P11	363003.99	7745509.79	LCZ 6
P12	362442.68	7744352.03	LCZ 5
P13	361947.77	7743729.37	LCZ B
P14	361492.73	7742490.50	LCZ B

Fonte: Elaborado pelo autor/2024.

A Tabela 4 apresenta uma caracterização geral dos trabalhos de campo, que ocorreram em cinco episódios, entre os meses de fevereiro e abril de 2024. Na Tabela 10, são apresentadas as temperaturas máximas e mínimas, bem como as amplitudes térmicas associadas aos sistemas atmosféricos atuantes durante os dias das aferições.

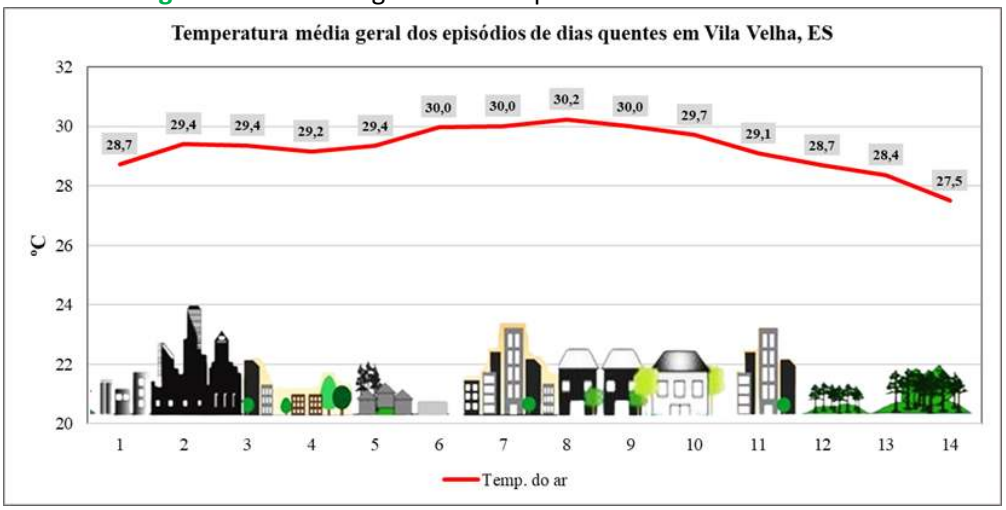
Tabela 4 – Caracterização geral da temperatura do ar ao longo dos transectos

Episódios	Temp. máx	Temp. min	AT	Sistema Atmosférico
1	32,8	28,7	4,1	Sistema de baixa pressão/Depressão subtropical
2	32,4	30,6	1,8	Sistema de baixa pressão
3	32,5	28,2	4,3	Anticiclone/Frente Fria
4	30,3	26,8	3,5	Anticiclone
5	25,1	23,7	1,4	Anticiclone
Média geral	30,2	27,5	2,7	

Fonte: Elaborado pelo autor/2024.

A fim de perceber o comportamento geral da temperatura ao longo de todos os episódios, foi gerado um gráfico das médias de temperatura do ar (Figura 14). Visualmente, percebe-se que os pontos mais próximos da costa e em zonas mais rurais apresentam temperaturas médias mais baixas, comparando-os com os pontos em áreas mais centrais. Isso corrobora com as principais teorias do clima urbano que afirmam que zonas mais próximas ao litoral, influenciadas pelas brisas marítimas e ventos mais úmidos, tendem a apresentar temperaturas mais baixas em relação aos sítios mais distantes do litoral, caso dos bairros Centro e Glória (LCZ 2 e LCZ 3). As áreas menos urbanizadas e com a presença de vegetação, pontos 12 a 14 (LCZ A), também apresentaram valor médio de temperatura do ar mais baixo, evidenciando, mais uma vez, a importância de espaços verdes em áreas urbanas e de corpos d'água, haja vista que estes dois estão mais próximos do baixo curso do rio Jucu, muito importante no abastecimento do município e que desagua no oceano Atlântico (Figura 15).

Figura 14 – Médias gerais de temperatura e umidade relativa



Fonte: Elaborado pelo autor/2024.

Figura 15 – Paisagem em torno dos pontos 12 e 13



Fonte: Google Earth (2024).

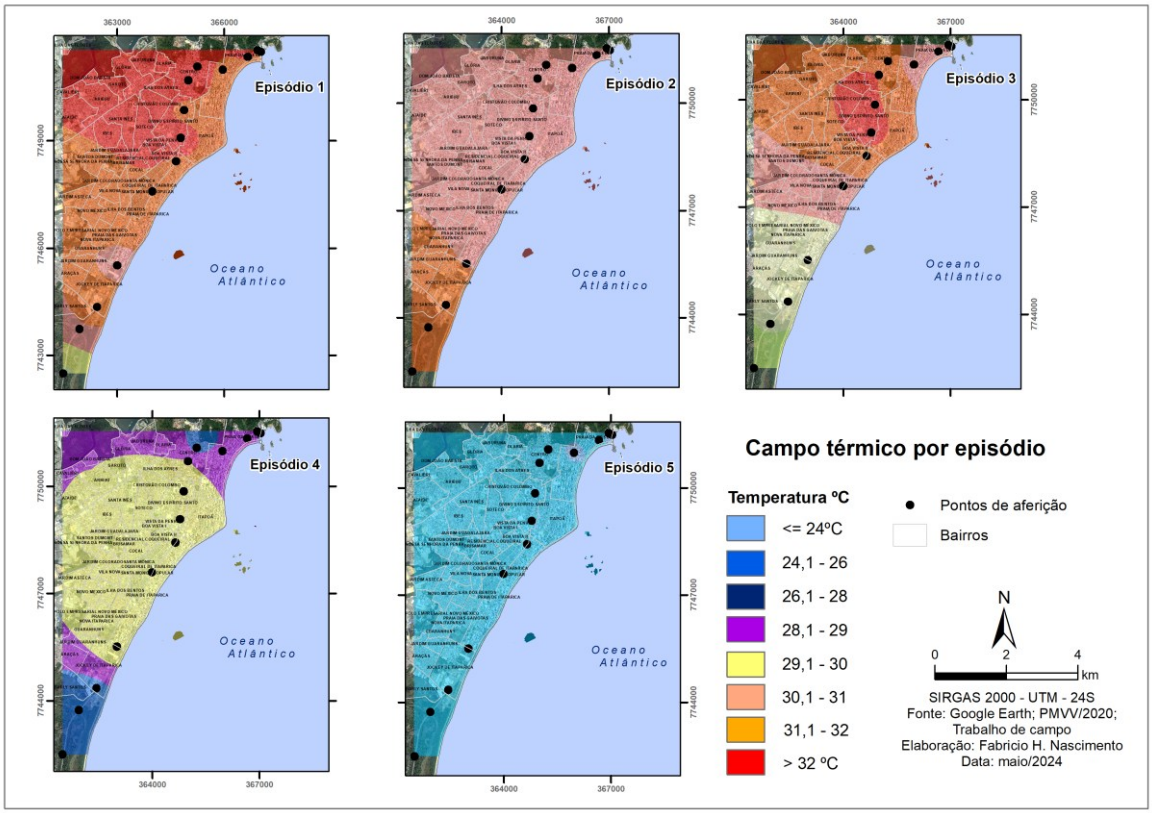
Como pode ser observado, a maior temperatura registrada foi de 30,2ºC e a menor foi de 27,5ºC, com amplitude térmica de 2,7ºC. Na média geral, as temperaturas mais elevadas foram observadas nas áreas mais densamente ocupadas e distantes do litoral, tal como no bairro Centro. Para além da urbanização, impermeabilização, pavimentação, dentre outras coisas, o bairro Centro de Vila Velha não sofreu influência significativa das brisas, como é o caso dos bairros mais próximos da costa, tais como Praia da Costa, Itapoã e Itaparica.

3.4. Análise espacial dos dados microclimáticos

Na tentativa de avaliar os dados aferidos ao longo dos transectos, foi gerado um mapa de distribuição da temperatura por meio da interpolação. A interpolação de dados climáticos é muito utilizada em estudos de climatologia geográfica para estimar valores de variáveis atmosféricas nos quais não se têm dados tal como temperatura do ar, umidade e precipitação. Há diversos métodos de interpolação existentes, como, por exemplo, o Inverso do Quadrado da Distância Ponderada (IDW), a Interpolação Polinomial e a Krigagem; esse último considerado um método de interpolação avançado que, além de considerar a distância entre os pontos, leva em conta também a variabilidade espacial deles, justificando sua escolha neste estudo (AMORIM, 2019; YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

A Figura 16 refere-se a um mapa síntese dos episódios 1 ao 5. Sobrepõe-se ao mapa os limites dos bairros e os pontos de monitorização, de norte a sul, compreendendo os bairros de Praia da Costa a Barra do Jucu. A foto aérea de fundo ajuda a perceber a correlação das faixas de temperatura em função do uso e cobertura do solo. Dessa forma, há uma tendência de que quanto mais impermeabilizado for o solo, mais elevada é a temperatura do ar, principalmente nas áreas mais distantes da costa, ao abrigo das brisas marítimas.

Figura 16 – Mapa síntese do campo térmico por episódio



Fonte: Elaborado pelo autor/2024.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo central desenvolver um zoneamento climático para Vila Velha, Espírito Santo, Brasil, por meio da proposta das Zonas Climáticas Locais, do inglês Local Climate Zone (LCZ), desenvolvida por Stewart (2011) e Stewart; Oke (2012). Por se tratar de uma metodologia desenvolvida e aplicada em países de latitudes altas, certamente uma série de considerações e adaptações foram feitas na área de estudo escolhida para o desenvolvimento deste trabalho de investigação.

As LCZ apresentam-se como um método importante nos estudos de Clima Urbano, conforme demonstrado ao longo do texto. Esse método, no entanto, também pode ser utilizado na compreensão da distribuição da vegetação e das formas urbanas, considerando diversas escalas de análise, áreas metropolitanas, cidades médias e pequenas, auxiliando os estudos em Climatologia Geográfica e Geografia do Clima.

Acerca dos transectos móveis em estudos de clima urbano, em primeiro lugar, essa técnica permite a realização de medições *in loco* de diversos elementos do clima ao longo de um trajeto pré-determinado, designadamente da temperatura do ar e da umidade relativa do ar por meio de instrumentos registradores. Por uma limitação financeira, não foi possível utilizar uma rede de monitorização mais densa, justificando o uso de apenas um equipamento e um veículo ao longo dos trabalhos de campo.

Assim, dada a extensão do transecto, cerca de 15 km, foi possível perceber como as características do município em função do uso e cobertura do solo, as atividades humanas, o fluxo de pessoas e automóveis influenciam o microclima local. Nesse enquadramento, por meio da avaliação entre a temperatura do ar e as LCZ, foi possível estabelecer uma ligação entre as duas variáveis, principalmente ao longo do dia, em que a radiação solar é mais intensa e então absorvida pela superfície e devolvida para atmosfera por processos de convecção e condução.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo (PPGG-Ufes) que deu-me a oportunidade de desenvolver essa pesquisa.

REFERÊNCIAS

AMORIM. M.C.C.T. Métodos e técnicas de pesquisa em climatologia geográfica. **Revista Geografia em Atos**, Departamento de Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente, n. 10, v. 03, p. 255-260, jan-abr/2019, ISSN: 1984-1647.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** 17°. ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 2013.

CARDOSO, R.S; AMORIM, M. Estimativa da distribuição espacial da temperatura do ar com base em zonas climáticas locais (LCZ) e modelos de regressão. GOT, n.º 12 – **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, Coimbra, Portugal, 2017.

DEMUZERE, M., KITTNER, J., BECHTEL, B. LCZ Generator: a web application to create Local Climate Zone maps. **Frontiers in Environmental Science**, 2021. 9:637455. https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.637455, 2021.

GARCÍA, F. F. **Manual de climatologia aplicada:** clima, medio ambiente y planificación. Madrid: Editorial Síntesis, S.A., 1995. 285p.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate.** Academic Press, New York. 1981.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia:** noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

MILLS, G. Climatologia urbana: história, status e perspectivas. **Urban Climate**, vol. 10: 479-489, 2014.

NETO, A.T. **A geografia do risco e da vulnerabilidade ao calor em espaços urbanos da zona tropical:** o caso Cuiabá-MT. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista (UNESP). Presidente Prudente, São Paulo, Brasil, 2019.

SANT'ANNA NETO, J.L. História da Climatologia no Brasil. Gênese e paradigmas do clima como fenômeno geográfico. **Cadernos de Geografia**, Florianópolis, Nº 7, maio 2004.

SORRE, M. Objeto e método da climatologia. **Revista do Departamento de Geografia**, 18 (2006) 89-94.

STEWART, I. D; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of American Meteorological Society**, n° 93, p. 1879–1900. doi: http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1, 2012.

VERDONCK, M; DEMUZERE, M; BECHTEL, B; BECK, C; BROUSSE, O; DROSTE, A; FENNER, D; LECONTE, F; VAN COILLIE, F. The Human Influence Experiment (Part 2): Guidelines for Improved Mapping of Local Climate Zones Using a Supervised Classification. **Urban Science**, 3(1), 2019, Doi: https://www.mdpi.com/2413-8851/3/1/27.

WANG, R; REN, C; XU, Y; LAU, K.K; SHI, Y. Mapping the local climate zones of urban areas by GIS-based and WUDAPT methods: A case study of Hong Kong. **Urban Climate** 24 (2018) 567–576.

WERNECK, D.R. **Variabilidade da temperatura de superfície diurna entre as zonas climáticas locais (LCZ):** um estudo para a área urbana do Distrito Federal. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade de Brasília, 2022.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística:** conceitos e aplicações. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.